

# KAIVOSALUEEN 20KV:N JAKELUVERKON UUDELLEEN- JÄRJESTELY

Viita Samuli

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Samuli Viita	<b>Vuosi</b>	2018
<b>Ohjaaja</b>	DI Jaakko Etto		
<b>Toimeksiantaja</b>	Sähkökunnossapitoinsinööri Erkki Nevanperä Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Työn nimi</b>	Kaivosalueen 20 kV:n jakeluverkon uudelleenjärjestely		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	52 + 4		

---

Opinnäytetyön aiheena oli kaivoksen 20kV jakeluverkon uudelleenjärjestely. Kaivosta syöttävällä Suurikuusikon sähköasemalla on tällä hetkellä kaksi päämuuntajaa ja keskijännitekytkinlaitosta. Sähköasemaa joudutaan kuitenkin laajentamaan kaivoksen tehontarpeen kasvaessa.

Työn tavoitteena oli järjestellä sähköaseman keskijännitelähdöt alueittain järkeviin kokonaisuuksiin, olemassa olevat varasyötöt ja tehontasaus huomioiden siten, että kaivokseen sähkönjakeluverkon äärialueen häiriöt eivät aiheuta keskeytyksiä kaivoksen ydintoiminnoille.

Työn alussa tutustuttiin kaivoksen sähkönjakeluverkon rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Tämän jälkeen oli perehdyttävä sähkönjakeluverkon kuormituksiin ja arvioitava, miten kuormitukset tulevat muuttumaan lähitulevaisuudessa kaivoksella käynnissä olevien lukuisten laajennusprojektien myötä. Kuormien arvioinnissa käytettiin apuna kaivoksen MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmää.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Lähtöjärjestelyistä tehtiin kolme eri vaihtoehtoa, johtuen rikastamon prosessin suuresta tehontarpeesta, jonka vuoksi rikastamon prosessin sähkönsyöttöä ei pystytäkään kokonaisuudessaan toteuttamaan yhdellä 25 MVA:n muuntajalla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa rikastamon jauhatusprosessin syötöt jätettiin eri kytkinlaitokselle muun prosessin kanssa ja toisessa vaihtoehdossa happitehtaat. Kolmas vaihtoehto oli hankkia suurempi 31,5 MVA:n päämuuntaja, jolloin rikastamon sähköverkkoa voidaan kokonaisuudessaan syöttää yhdellä päämuuntajalla. Tämä vaihtoehto valittiin toteutettavaksi sähköaseman laajennuksen yhteydessä.

Avainsanat

kaivos, kytkinlaitokset, muuntamot, sähköasemat, sähkönjakelu

Technology, Communication and Transport  
Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Samuli Viita	Year	2018
<b>Supervisor</b>	Jaakko Etto, M.Sc. (Tech.)		
<b>Commissioned by</b>	Erkki Nevanperä, Electrical General Supervisor Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Rearrangement of mine site 20 kV distribution network		
<b>Number of pages</b>	52 + 4		

---

The subject of this thesis was to rearrange Kittilä mine's electricity distribution network. Suurikuusikko substation that is feeding the 20 kV distribution network of the mine has currently two main transformers and medium voltage switch-gears. As the power dissipation increases in the future, a third substation is planned to be built.

The objective was to rearrange medium voltage feeders of the substation so that the faults originating from the peripheral sections of the distribution network would not affect the main functions of the mine and the different main transformers would be feeding specific areas of the mine like the mill. The existing backup connections and load balancing had also be taken into account.

At first the structure and properties of the current distribution network of the mine had to be examined. Next the loads of the distribution network had to be studied to assess how they will be changing in the near future because of the countless ongoing expansion projects. Information for the assessment was gathered from the MicroSCADA network control system.

The objectives of this thesis were met and because of the high power consumption of the mill process, medium voltage distribution network of the mill area could not be fed with only one 25 MVA main transformer so three different suggestions were made. In the first option, the grinding process is fed a from different transformer than the rest of the mill and in the second option the oxygen plants. The third option was to purchase a larger 31.5 MVA main transformer for the substation extension, so that the whole mill electricity distribution network could be fed with one main transformer. This option was chosen to be implemented in the building of the new substation extension.

Key words                      mine, switching stations, transformer stations,  
substations, electricity distribution

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	KITTILÄN KAIVOS.....	9
2.1	Agnico Eagle Finland Oy .....	9
2.2	Agnico Eagle Mines Ltd .....	9
2.3	Maanalainen kaivos .....	10
2.4	Rikastamo .....	10
3	TEOLLISUUDEN KUORMAT .....	12
4	TEOLLISUUDEN SÄHKÖVERKOT .....	14
4.1	Rakenne ja jännitetasot .....	14
4.2	Sähköasemat.....	14
4.3	Sähkönjakeluverkko.....	22
4.4	Sähkönjakelu maanalaisessa kaivoksessa .....	25
5	KÄYTTÖVARMUUS .....	27
5.1	Sähkönjakelun viat.....	27
5.2	Jännitekuopat .....	28
5.3	Kunnossapito .....	29
6	KAIVOKSEN SÄHKÖVERKON NYKYTILA .....	32
6.1	Verkon rakenne ja kuormitus .....	32
6.2	Sähkönkulutus .....	36
6.3	Tyypilliset häiriötilanteet.....	38
6.4	Erilaiset käyttötoimenpiteet .....	39
7	LÄHTÖJEN RYHMITTELY .....	40
7.1	Muuntamoiden kriittisyys.....	40
7.2	Tehonjako .....	40
7.3	Varasyöttöyhteydet .....	41
8	TOTEUTUSEHDOTUKSET .....	43
8.1	Nykyiset lähtöjärjestelyt .....	43
8.2	Vaihtoehto 1.....	44
8.3	Vaihtoehto 2.....	46

8.4	Vaihtoehto 3.....	46
9	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET .....	52

## ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön aiheesta sähkökunnossapitoinsinööri Erkki Nevanperää ja ohjauksesta erityisesti vanhempaa sähköinsinööri Jouko Mattilaa. Tämän lisäksi haluan kiittää opinnäytetyön ohjannutta opettajaa DI Jaakko Ettoa.

Kittilässä 26.3.2018

Samuli Viita

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CCD	Counter Current Decantation
CIL	Carbon In Leach
GIS	Gas Insulated Switchgear
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
RMU	Ring Main Unit
VYK	Vika- ja ylivirtasuojakeskus

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivokselle alkuvuodesta 2018. Työn tavoitteena on tehdä suunnitelma kaivosalueen 20kV:n sähköjakelun kehittamisestä ja johtolähtöjen järjestelyistä kolmen keskijännitekytkinlaitoksen kesken.

Johtolähdöt on tarkoitus järjestää alueittain järkeviin kokonaisuuksiin tehontaus ja olemassa olevat varasyötöt huomioiden siten, että verkon äärialueen häiriöiden vaikutukset kaivoksen ydintoiminnoille jäävät mahdollisimman pieniksi. Koska kaivoksen sähköverkko ja sähköasema on rakennettu vaiheittain toiminnan laajentuessa, syötetään useita kaivoksen äärialueen toimintoja ja rikastamon prosessin kannalta kriittisiä laitteita samalla päämuuntajalla. Tästä johtuen melko mitätön häiriötilanne voi johtaa suuriin taloudellisiin menetyksiin.

Opinnäytetyössä tarkastellaan teollisuuden sähköverkkojen ominaisuuksia sekä sähköjakelun käyttövarmuuteen liittyviä asioita. Tämän lisäksi työssä esitellään Kittilän kaivoksen sähköjakeluverkon rakennetta, kuormitusta ja käyttöä.

Työssä käydään läpi eri vaihtoehtoja sähköaseman keskijännitelähtöjen uudelleen järjestämiseksi. Kuitenkaan oikosulku- ja maasulkuvirtojen laskenta ja muutostarkastelu eivät sisälly työhön, kuten ei myöskään kytkentämuutosten aikataulutus ja suunnittelu.



## 2 KITTILÄN KAIVOS

### 2.1 Agnico Eagle Finland Oy

Agnico Eagle Finland Oy on kanadalaisen Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö, joka omistaa Kittilän kaivoksen sekä harjoittaa malminetsintää Suomessa ja muualla Pohjoismaissa. Suurikuusikon kultaesiintymä siirtyi Agnico Eaglen omistukseen sen hankkiessa vuonna 2005 ruotsalaisen Riddarhyttan Resources AB:n koko osakekannan, jolloin siitä tuli yhtiön ensimmäinen kaivos Kanadan ulkopuolella. (Agnico Eagle Finland Oy 2018b)

Kittilän kaivos on Euroopan suurin kultakaivos, jossa louhitaan vuodessa noin 1,6 miljoonaa tonnia malmia ja sen vuosittainen tuotanto on noin 6000 kiloa kultaa. Vuonna 2017 maanalainen kaivos tuotti 1 563 612 tonnia malmia (Agnico Eagle Finland Oy n.d.). Rikastamossa käsiteltiin 1 685 000 tonnia malmia ja kullan tuotanto oli 196 938 unssia (Agnico Eagle Mines Ltd 2018a, 46). Tämän hetkisillä malmivaroilla ja tuotantomäärillä kaivoksen odotetaan toimivan vuoteen 2035 asti. Malminetsinnän tuloksista riippuen toiminta-aika voi jatkua pitempäänkin. Kaivos työllistää tällä hetkellä noin 440 omaa työntekijää ja 200 - 300 urakoitsijan työntekijää. Louhinta kaivoksella alkoi vuonna 2008 kahdesta avolouhoksesta, ja maanalainen louhinta alkoi 2010. Avolouhostoiminta päättyi vuonna 2012, jolloin louhinta siirtyi kokonaan maan alle. Vuosittain kaivoksella louhitaan yli 15 kilometriä uutta tunnelia. (Agnico Eagle Finland Oy 2018b)

### 2.2 Agnico Eagle Mines Ltd

Agnico Eagle Mines Limited on kanadalainen kaivosyhtiö, jolla on kaivoksia tällä hetkellä kolmessa eri maassa: Kanadassa, Meksikossa ja Suomessa. Tämän lisäksi yhtiö harjoittaa malminetsintää myös Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. Yhtiö sai alkunsa vuonna 1953 viiden kaivosyhtiön yhdistyessä Cobalt Consolidated Mining Ltd:ksi, joka vuonna 1957 vaihtoi nimensä Agnico Mines Ltd:ksi. Vuonna 1972 Agnico Mines Ltd yhdistyi Eagle Gold Mines Ltd:n kanssa Agnico Eagle Mines Ltd:ksi. (Agnico Eagle Mines Ltd 2018b)

### 2.3 Maanalainen kaivos

Maanalaisessa kaivoksessa tuotanto tapahtuu välitasolouhintana, jossa louhinta etenee alhaalta ylöspäin louhos kerrallaan. Louhittu malmi lastataan kuorma-autoihin ja kuljetetaan vinotunnelia pitkin rikastamolle murskattavaksi (Pöyry Finland Oy 2015, 27). Tyhjät louhokset täytetään joko pastalla tai sivukivellä (Agnico Eagle Finland Oy 2017b). Malmin lastausta ja kuljetusta lukuun ottamatta, kaikki tuotannossa ja peräajossa käytetyt koneet ovat sähkökäyttöisiä.

Maanalaisen kaivoksen tuuletus tapahtuu ilmanvaihtonousujen kautta. Raitisilmanousuja pitkin ilma viedään pinnalta maan alle, jossa se ohjataan tuotantotasolle paikallispuhallinten avulla. Tuotantotasoilta ilma poistetaan poistoilmanousuihin ja vinotunneleihin, joita pitkin ilma poistuu maan pinnalle. Kittilän kaivoksella on neljä raitisilmanousua ja kaksi poistoilmanousua. Pääpuhaltimia on noususta riippuen yksi tai kaksi kappaletta ja ne ovat teholtaan 250 – 630 kW. Kaivokseen puhallettava ilma lämmitetään tarvittaessa talvisin +5 °C:een. Lämmitykseen käytetään rikastamon prosessista ja happilaitokselta saatavan hukkalämmön talteenoton lisäksi propaani- ja öljylämmitystä. (Peuraniemi 2018a; Peuraniemi 2018b)

Maanalaiseen kaivokseen kertyvä ylimääräinen vesi on poistettava, jotta se ei haittaisi tuotantoa. Maan alla on tällä hetkellä kuusi pumppaamoa, joille vedet ohjataan. Pumppaamot on rakennettu pystysuunnassa 200 metrin välein siten, että ne muodostavat ketjun, jossa alempi pumppaamo syöttää ylem্পää pumppaamoa. Ketjun viimeisestä pumppaamosta vedet pumpataan maanpäälliseen selkeytysaltaaseen, josta vedet ohjataan pintavalutuskentän kautta Seurujokeen. Pumppaamoketjuja on yhteensä kolme, ja jokaisella pumppaamolla on kaksi 132 kW pumppuyksikköä. (Alaperä 2017)

### 2.4 Rikastamo

Rikastamolla malmi murskataan ensin leukamurskaimella, jonka jälkeen se hienonnetaan sopivan kokoiseksi kaksivaiheisessa jauhatuspiirissä. Jauhatuksen



### 3 TEOLLISUUDEN KUORMAT

Suurten teollisuuslaitosten verkoissa on paljon pyörivää moottorikuormaa sekä lukuisia suuritehoisia muuntajia. Suuret kuormatehot ja etenkin niiden vaihtelu edellyttää, että liitännän jakeluverkkoon on oltava vahva. (Hietalahti 2013, 123)

Suurin osa teollisista kuormalaitteista on kolmivaiheisia, jolloin pystytään siirtämään suurempia tehoja. Joitain laitteita, kuten esimerkiksi ohjausjärjestelmien muuntajia kytketään kahden vaiheen väliin, jolloin ne muodostavat kaksivaiheisen kuormapiirin. Yksivaiheisia kuormalaitteita teollisuudessa ovat pääasiassa kiinteistöjärjestelmät, kuten valaistus, pistorasiat ja yksivaiheiset moottorit. (Hietalahti 2013, 124)

Tietyt kuormitukset, kuten esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat tarvitsevat pätötehon lisäksi toimiakseen myös loistehoa. Näennäisteho muodostuu pätö- ja loistehosta (Kaava 1). (ABB Oy 2000a, 1)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

missä

S	on	näennäisteho [VA]
P	on	pätöteho [W]
Q	on	loisteho [var]

Kuorman ottama virta voidaan laskea näennäistehosta kaavan 2 avulla.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} \quad (2)$$

missä

I	on	virta [A]
S	on	näennäisteho [VA]
U	on	jännite [V]

Sähköverkot mitoitetaan näennäistehon ja kokonaisvirran perusteella. Tehokerroin ilmaisee kuormituksen loistehontarpeen. (ABB Oy 2000a, 1.) Taulukossa 1 on esitetty eri kuormien tyypillisiä tehokertoimia.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (3)$$

missä

$\cos \varphi$	on	tehokerroin
P	on	pätöteho
S	on	näennäisteho

Taulukko 1. Kuormien tyypillisiä tehokertoimia (muokattu lähteestä ABB Oy 2000a, 1)

Kuorma	$\cos \varphi$ [W / VA]	$\tan \varphi$ [var / W]
Moottorit	0,7 ... 0,9	1,0 ... 0,48
Loisteputkivalaisimet		
- kompensoimattomat	0,5	2
- kompensoidut	0,9	0,5
Tyristorikäytöt	0,4 ... 0,75	2,3 ... 0,9
Resistiivinen kuorma	1	0

## 4 TEOLLISUUDEN SÄHKÖVERKOT

### 4.1 Rakenne ja jännitetasot

Teollisuuden sähköverkot ovat laajuudeltaan pieniä, mutta niissä siirrettävät tehot ovat suuria. Ylivoimaisesti suurin sähköenergian kuluttaja ovat sähkömoottorit, joten niiden nimellistehot ja lukumäärät ovat ratkaisevia tekijöitä sähköjakeluverkon rakenteen ja nimellisjännitteen valinnassa. Myös eri sähkölämpötekniikat kuten valokaariuunit ja infrakuivaimet voivat merkittävästi vaikuttaa verkon rakenteeseen. (Etto 1998, 3)

Suuret teollisuuslaitokset kytketään yleensä suoraan 110 kV:n verkkoon (Aura & Tonteri 1993, 96). Jännitteen jakeluun käytetään laitoksen rakentamisajankohdasta ja suurimpien moottoreiden yksikkötehoista riippuen joko 20 kV, 10 kV tai 6 kV jännitteitä. Nykyisin myös 110 kV jännitetasoa voidaan käyttää tehdasalueen sisäisessä jakelussa. 20 kV jännite sopii laitoksen keskijännitejakeluun ja sellaisenaan myös laitoksen varayhteydeksi esimerkiksi paikalliseen sähkölaitokseen. (Etto 1998, 3)

Moottorijännitteinä käytetään yleensä 10 kV, 6 kV, 3 kV, 690 V, 525 V ja 400 V. Keskijännitemoottoreiden jännitteet ovat yleensä 10 kV tai 6 kV. 10 kV jännite sopii myös jakelujännitteeksi ja vanhemmissa laitoksissa voi olla käytössä myös 6 kV jakelujännite. Suuritehoisten moottoreiden lisäksi teollisuuden jännitevalintoihin ovat yleensä vaikuttaneet 6 – 10 kV jännitteellä toimivat keskijännitegeneraattorit. Teollisuuslaitoksen jakelu- ja moottorijännitteiden valinta on teknis-taloudellinen optimointitehtävä. (Etto 1998, 3)

### 4.2 Sähköasemat

Sähköasema on sähköjakeluverkon tärkein yksittäinen rakenneosaa. Sähköasema koostuu suurjännitekytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apujännitejärjestelmästä. Suurjännitekytkinlaitokseen voi säteittäisjohdon sijasta tulla useita johtoja, jolloin sähköasemalle saadaan vaihtoehtoisia syöttösuuntia. (Lakervi & Partanen 2008, 119)

Suurjännitekytkinlaitos voi olla joko avorakenteinen ulkokojeisto tai sisäkytkinlaitos. Avorakenteinen kytkinlaitos tulee kysymykseen 110 kV ja sitä suuremmilla jännitteillä silloin, kun halpaa ulkotilaa on riittävästi käytettävissä. Suomessa tällainen ratkaisu on yleinen, lukuun ottamatta suurimpia kaupunkeja ja teollisuuslaitoksia. Kokoojina käytetään joko putki- tai köysikokoojia. Köysikiskolaitoksilla köysien heilumisen rajoittaminen on vaikeaa 110 kV:n laitoksilla jo noin 20 kA:n virroista lähtien. Nykyään rakennetaankin köysikiskostojen sijaan lähes yksinomaan putkikiskostoja. Putkikiskostojen etuina voidaan mainita muun muassa helppo laajennettavuus, taloudellisuus ja kytkinlaitoksen pienempi pinta-ala ja korkeus. Kiskoerottimina on usein edullisinta käyttää tartuntaerottimia. Ryhmäerottimina käytetään tavallisesti kiertoerottimia. (Aura & Tonteri 1993, 363 – 365; Elovaara & Haarla 2011, 116)

Päämuuntaja on sähköaseman kallein komponentti. Muuntajien nimellistehoilla on suora vaikutus keskijänniteverkon oikosulkuvirtoihin; mitä isompi nimellisteho, sitä pienempi oikosulkuimpedanssi ja sitä suurempi oikosulkuvirta. Tyypillisesti päämuuntaja on nimellisteholtaan 10 – 40 MVA. Osa muuntajan muuntokapasiteetista on varattava varatehoksi saman sähköaseman naapurimuuntajan tai -sähköasemien vikatilanteita varten, joten muuntajaa ei tavallisesti voida käyttää koko nimellistehollaan. Jos ympäristön lämpötila on riittävän alhainen, voidaan muuntajaa ylikuormittaa varasyöttötilanteessa 10 – 30 %. Tyypillinen päämuuntajan maksimikuormitusaste on 60 – 80 %. (Lakervi & Partanen 2008, 121)

Päämuuntajan suojaus on monipuolinen. Pääsuojoina toimii differentiaali- ja ylivirtareleet. Differentiaalisuoja tunnistaa muuntajan sisäiset viat kuten oikosulun, maasulun, käämisulun ja kierrossulun. Toinen tärkeä muuntajan suoja on virtalaukaisulla varustettu kaasurele. Kaasurele toimii yleensä nopeimmin vakavissa muuntajan sisäisissä vioissa. (Lakervi & Partanen 2008, 121)

Päämuuntajassa on käämikytkin, jonka tarkoituksena on pitää alajännitepuolen jännite vakiona, riippumatta syöttävän verkon jännitetasosta ja muuntajan kuormituksesta. Maaseutuverkoissa käytetään usein niin sanottua compoundointia, jolla toisiojännitettä korotetaan kuormituksen lisääntyessä. Tällä tavoin pystytään

kompensoimaan keskijännitejohtojen jännitteenalenemia. (Lakervi & Partanen 2008, 121)

Päämuuntaja syöttää keskijännitekytkinlaitoksen keskijännitelähtöjä. Yhden muuntajan kiskojärjestelmä on yleensä joko yksikisko- tai kiskoapukiskojärjestelmä. Avorakenteiset sisäkojeistot ovat olleet keskijänniteverkoissa yleisiä ratkaisuja, mutta nykyisin on kannattavampaa käyttää ilma- tai SF<sub>6</sub>-eristeisiä koteloituja kojeistoja tai kytkinlaitoksia. (Lakervi & Partanen 2008, 121; Elovaara & Haarla 2011, 119 – 120)

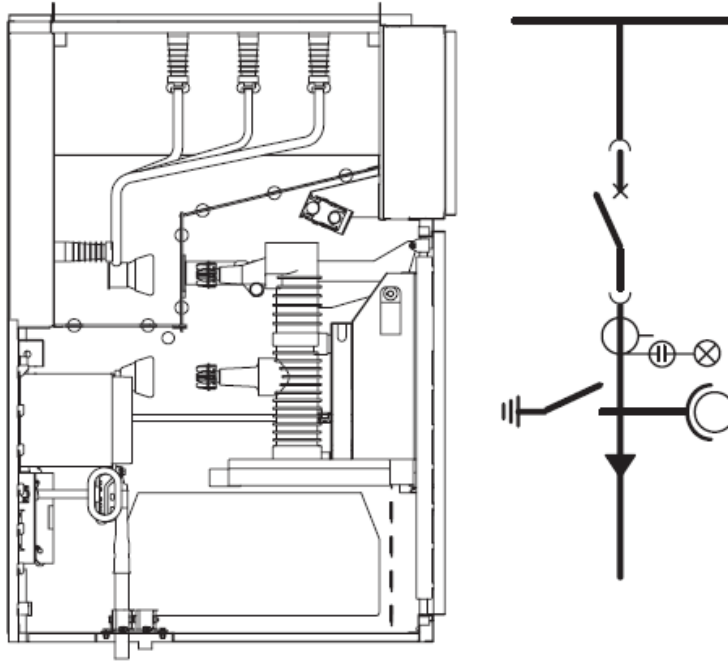
Jakeluverkkoa syöttävillä sähköasemilla sekä voimalaitosten ja teollisuuslaitosten sähköasemilla keskijännitteiset kytkinlaitokset toteutetaan yleensä järeinä katkaisijakojeistoina. Jakeluverkon muuntamoilla taas käytetään pääasiassa kuormanerotinkojeistoja. Nykyisin katkaisijakojeistoissa käytetään yleisesti kiintein maadoituserottimin varustettuja vaunukatkaisijakennoja. Kuormanerotinkojeistojen erottimet ovat tyypillisesti kiinteästi asennettuja. (Elovaara & Haarla 2011, 124)

Vaunukatkaisijakojeistot kehitettiin alun perin sähkölaitosten ja teollisuuden vaativiin käyttötarpeisiin sekä huollon nopeuttamiseksi että erottimien aiheuttamien vikojen vähentämiseksi. Vaunukatkaisijakojeistoissa katkaisijaa ympäröivät erottimet on korvattu ilmapälillä, joka syntyy vedettäessä katkaisijavaunu ulos kennosta. (Elovaara & Haarla 2011, 124)

Uudempi rakenneratkaisu on niin sanottu kasettikojeisto, jossa kytkinlaitteet ovat kaseteissa. Kasetin vaihto tapahtuu siirtovaunulla ja kojeiston rakenne on metalliosakoteloitu tai tilakoteloitu. Kasetin alle jäävää tilaa voidaan käyttää kalustukseen. Mitään kytkentätoimenpiteitä ei voida suorittaa oven ollessa avattu. Katkaisijaa ulos vedettäessä yhteydet kokoojakisko- ja kaapelitiloihin sulkeutuvat esimerkiksi automaattisesti toimivilla sulkulevyillä. Työmaadoituserotin on kytkentäkykyinen eli se pystyy sulkeutumaan mitoitusvirrallaan ilman vaurioita. Kuviossa 2 on esitetty eräänlainen kasettikojeistoratkaisu. Kennon yläosan kiskotila kulkee koko kojeiston läpi ja sen voi avata vain työkalujen avulla. Kiskotilan ja kaapeliti-



lan välissä on kaasulla täytetty epoksihartsikuorella eristetty tila. Katkaisija sijaitsee kaapelitilassa, johon on varattu tilaa myös tulo- ja syöttökaapeliliitännöille, sulakkeille, maadoituskytkimille ja mittamuuntajille. (Elovaara & Haarla 2011, 125)



Kuvio 2. ABB:n Uniswitch vaunukatkaisijakennon poikkileikkaus ja pääkaavio. (ABB Oy 2008, 11)

Tilankäytöstä on muodostunut ympäristöystävällisyyden lisäksi ajan saatossa tärkeä kriteeri kytkinlaitostyyppin valinnassa, jonka myötä SF<sub>6</sub>-eristeisistä kytkinlaitoksista (GIS) on tullut entistä kilpailukykyisempiä. Keskijänniteverkkojen GIS-laitoksia ovat varsinaiset katkaisijakytkinlaitokset, kuormanerotimilla varustetut kytkinlaitoskennot tai ilmaeristeisiä kuormanerotinkojeistoja korvaavat muuntajakojeistot (RMU). Keskijännite GIS-kojeistoja helppo laajentaa ilman keskeytystä. Jopa yhden kiskon lisääminen voi olla mahdollista ilman keskeytystä. Keskijännite GIS-kojeistoissa on myös tyypillisesti katkaisijan ja kokoojakiskon välille asennettu kolmiasentoinen moottori- ja käsiohjattu erotin, työmaadoittaminen katkaisijan kautta ja jänniteindikoinnin mahdollisuus työmaadoittimessa. (Elovaara & Haarla 2011, 128, 136 – 137)

Pienemmillä kuormilla voi kytkinlaitteena toimia tyhjiökatkaisija tai kuormanerotin. Myös kuormanerotin on kolmiasentoinen ja suljettu SF<sub>6</sub>-kaasulla täytettyyn tilaan. Jänniteindikaattori on voitu toteuttaa esimerkiksi kaapelipääteeseen sijoitetun kapasitiivisen jännitteen jakajan avulla, ja sen avulla voidaan varmistaa ennen maadoittamista, että kaapelit ovat todella irti verkosta. Kaapeleiden työmaadoitus tapahtuu katkaisijoiden avulla. (Elovaara & Haarla 2011, 138)

SF<sub>6</sub>-eristeisen muuntamokojeiston eli RMU:n kehitys sai alkunsa valumuovieristeisten kompaktimuuntamoiden vuotovirtaongelmista. RMU on kuormanerotinkojeisto, jota käytetään silmukoiduissa kaapeloiduissa keskijänniteverkoissa. RMU kojeisto mahdollistaa T-haaraliitännäisen muuntajan liittämisen silmukkaan ja sen erottamisen molempiin syöttösuuntiin. RMU-kojeiston tyypillinen mitoitusvirta on 630 A ja oikosulkukestoisuus 50 kA. Perusrakenteeltaan RMU-kojeistoja on kahden tyyppisiä. Järjestelmät, joissa on ennalta määrätty määrä kaapelilähtöjä ja yhteisen kuoren sisältämä yhteinen kaasutila sekä laajennettavissa olevat järjestelmät, joissa on vierä viereen asennettuja itsenäisiä kennoja. (Elovaara & Haarla 2011, 138)

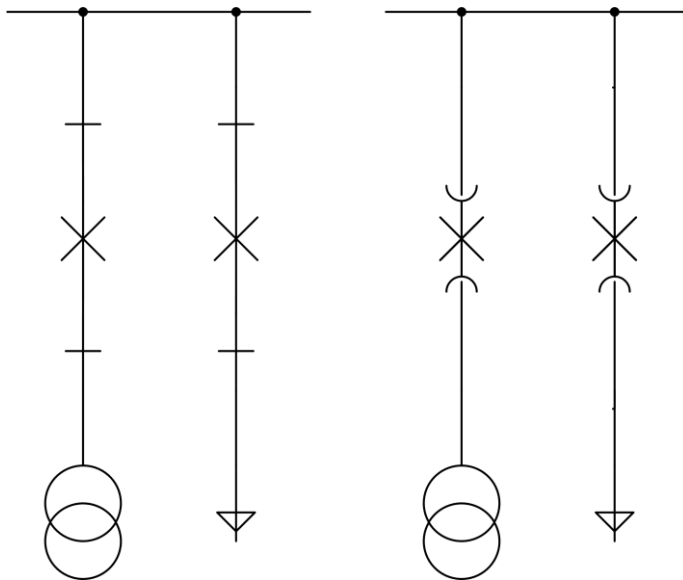
RMU-kojeiston kaasutilassa olevia kytkinlaitteita ei voida huoltaa, joten niiden tulee olla erittäin toimintavarmoja. Kaapeli- ja varoketiloihin menevät liitännät on toteutettu kaasutiiviillä läpivienneillä. Varokkeet ovat ilmaeristeisinä joko yksivaiheisissa koteloissa tai kouruissa siten, että vaiheiden välistä vuotovirtaa ei pääse syntymään. On myös olemassa ratkaisuja joissa varokekuormanerotin on korvattu pienellä tyhjiö- tai SF<sub>6</sub>-katkaisijalla. (Elovaara & Haarla 2011, 138)

Sähköasemien yhteydessä voi olla myös kompensointilaitteisto. Jakeluverkoissa käytetään rinnakkaiskondensaattoriparistoja ja voimansiirtoverkoissa käytetään näiden lisäksi rinnakkaiskuristimia. Rinnakkaiskuristimien avulla kompensoidaan johtojen kehittämä ylimääräinen loisteho kuormituksen ollessa pieni. (Hietalahti 2013, 106)

Kokoojakiskojärjestelmät mahdollistavat erilaisten kytkentäratkaisujen toteuttamisen kytkinlaitoksessa. 110 kV:n pääte- ja johdonvarsiasemilla, joissa on vain

yksi muuntaja, voidaan käyttää myös kiskotonta järjestelmää. Kiskottomassa järjestelmässä käytön jakaminen tai ohikytkeminen ei ole mahdollista ja johtoerottimen huolto vaatii aina jakelukeskeytyksen. (Aura & Tonteri 1993, 332; Elovaara & Haarla 2011, 102)

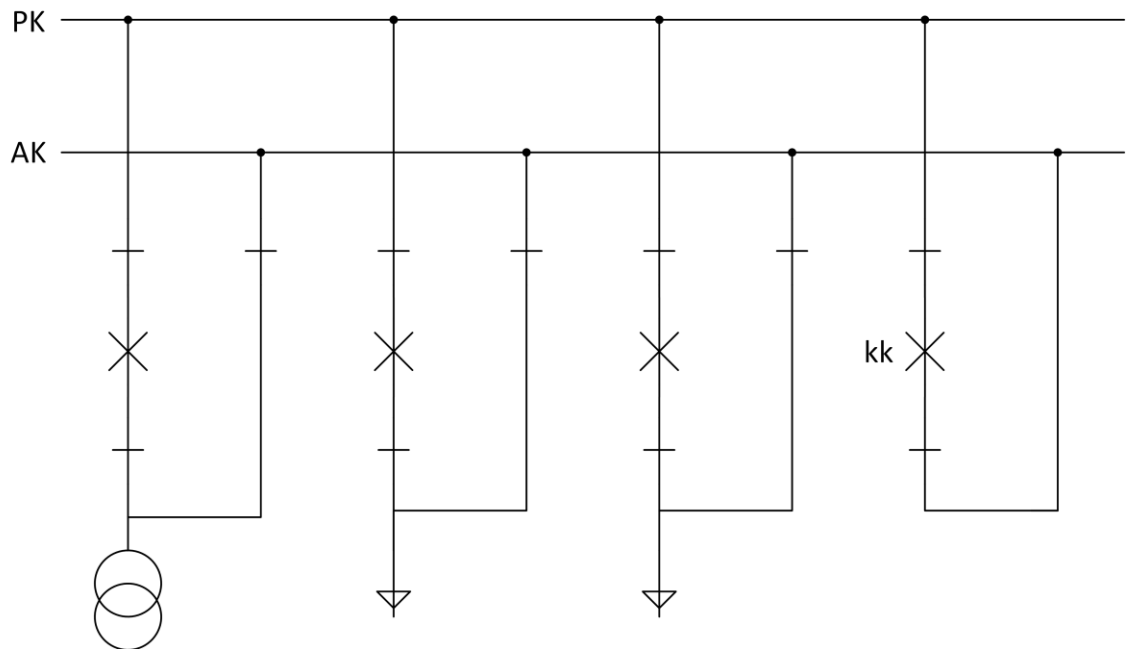
Yksinkertaisin varsinainen kiskojärjestelmä on yksikiskojärjestelmä (Kuvio 3), jota käytetään pääasiassa jakelukojeistoissa ja jakeluasemilla. Perusominaisuuksiltaan se muistuttaa kiskotonta järjestelmää. Siihen saadaan lisää joustavuutta tarvittaessa jakamalla kiskosto osiin pitkittäiskatkaisijalla- tai erottimella. Yksikiskojärjestelmän parhaita ominaisuuksia ovat sen halpa hinta ja yksinkertaisuus, mutta se tarjoaa vain rajoitetut mahdollisuudet kuormitusten ryhmittelyyn ja kiskoston huoltoon. Yhden muuntajan kautta syötetyssä 20 kV jakeluverkossa, jossa johdot on rakennettu suljetuiksi renkaiksi, yksikiskojärjestelmä on erityisen käyttökelpoinen. Tällöin järjestelmän pahimmat puutteet voidaan välttää johtorenkaiden avulla. (Aura & Tonteri 1993, 332 – 333; Elovaara & Haarla 2011, 102 – 103)



Kuvio 3. Yksikiskojärjestelmä.

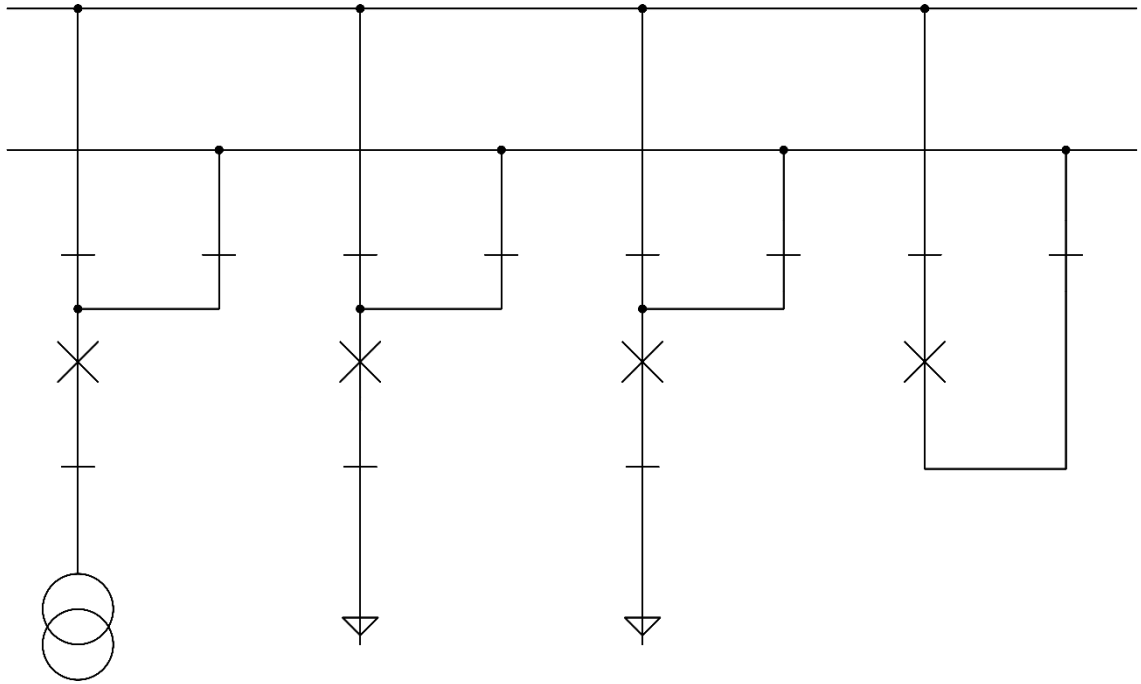
Kisko-apukiskojärjestelmä (Kuvio 4) on yksikiskojärjestelmää luotettavampi ratkaisu. Siinä yksittäinen katkaisija voidaan esimerkiksi huollon ajaksi ohi kytkeä

kiskokatkaisijalla. Kisko-apukiskojärjestelmässä kiskoston huollot ja kytkinlaitoksen muutostyöt on yksikiskojärjestelmää helpompi suorittaa. (Aura & Tonteri 1993, 333; Elovaara & Haarla 2011, 103)



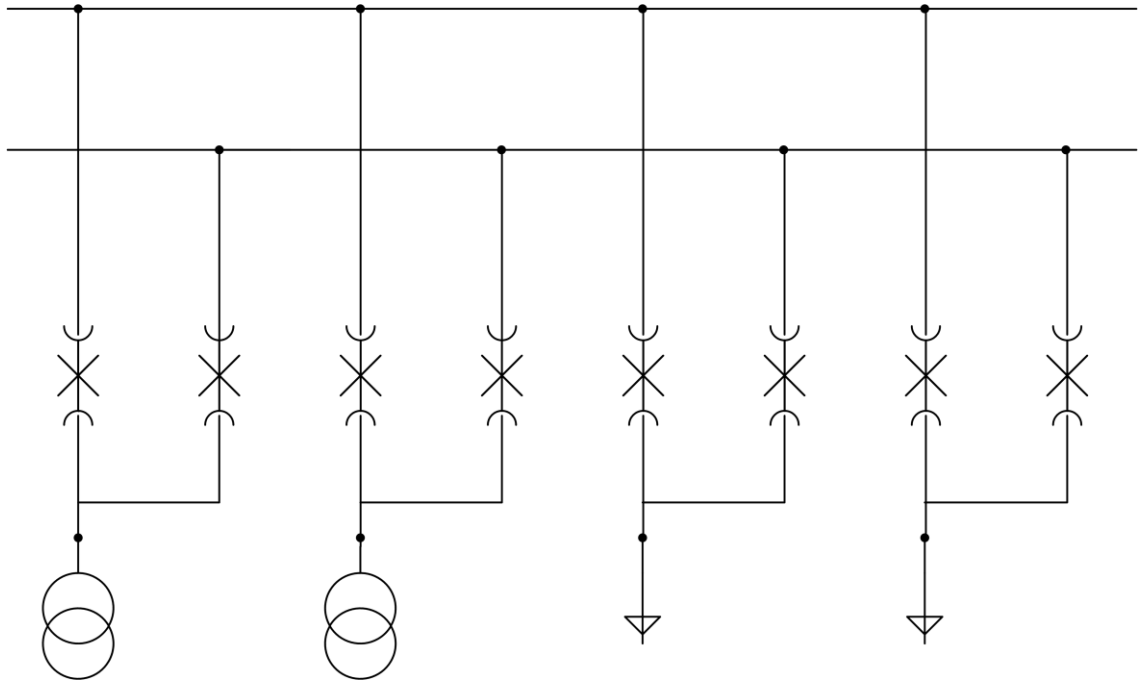
Kuvio 4. Kisko-apukiskojärjestelmä (Aura & Tonteri 1993, 333; Elovaara & Haarla 2011, 103)

Kaksikiskojärjestelmä (Kuvio 5) mahdollistaa johtojen ja muuntajien ryhmittelyn ja ryhmittelyn muuttamisen käytön aikana. Käyttö on mahdollista jakaa kahteen ryhmään joko tilapäisesti tai pysyvästi. Toinen kiskojärjestelmä voidaan huoltoa varten tehdä jännitteettömäksi käytön häiriintymättä. Katkaisijat ovat ohikytkettävissä ja suojaus pysyy selektiivisenä. (Aura & Tonteri 1993, 334)



Kuvio 5. Kaksikiskojärjestelmä. (Aura & Tonteri 1993, 334; Elovaara & Haarla 2011, 103)

Kaksoiskatkaisijajärjestelmä (duplex) (Kuvio 6), soveltuu parhaiten vaunukatkaisijoilla toteutettuihin keskijännitelaitoksiin. Se on jopa kiskovikojen ja virheohjausten suhteen erittäin käyttövarma. Katkaisijan huolto on mahdollista suorittaa ilman verkossa suoritettavia kytkentöjä. Järjestelmän haittana on kuitenkin korkea hinta, etenkin suurjännitteellä, koska katkaisijoita ja mittamuuntajia tarvitaan kaksoiskiskojärjestelmään verrattuna noin kaksinkertainen määrä. Suomessa käytetään etenkin niin kutsuttua riisuttua duplex-järjestelmää, jolloin vain johtolähdöillä on täysduplexliityntä ja kumpikin muuntaja on kytketty vain toiseen kiskoista. (Aura & Tonteri 1993, 334; Elovaara & Haarla 2011, 104)

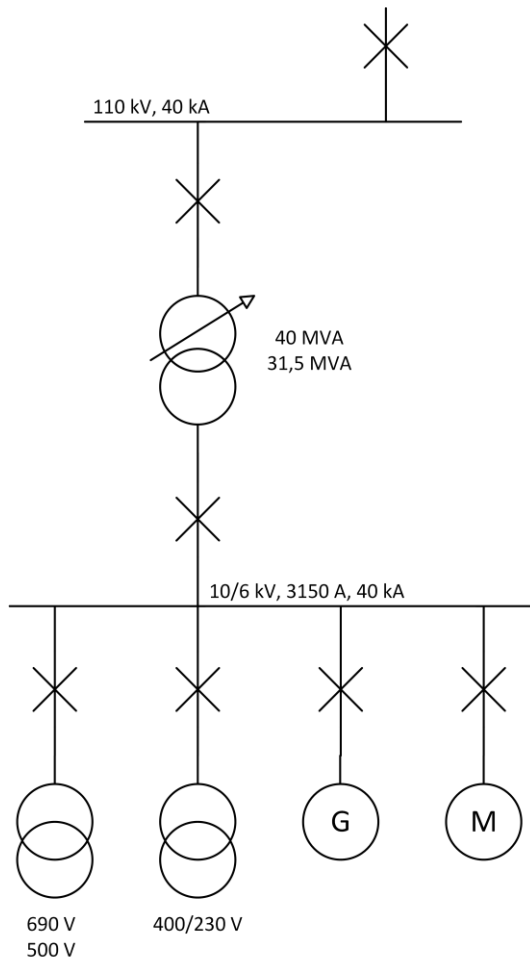


Kuvio 6. Kaksoiskatkaisijajärjestelmä. (Elovaara & Haarla 2011, 104)

#### 4.3 Sähkönjakeluverkko

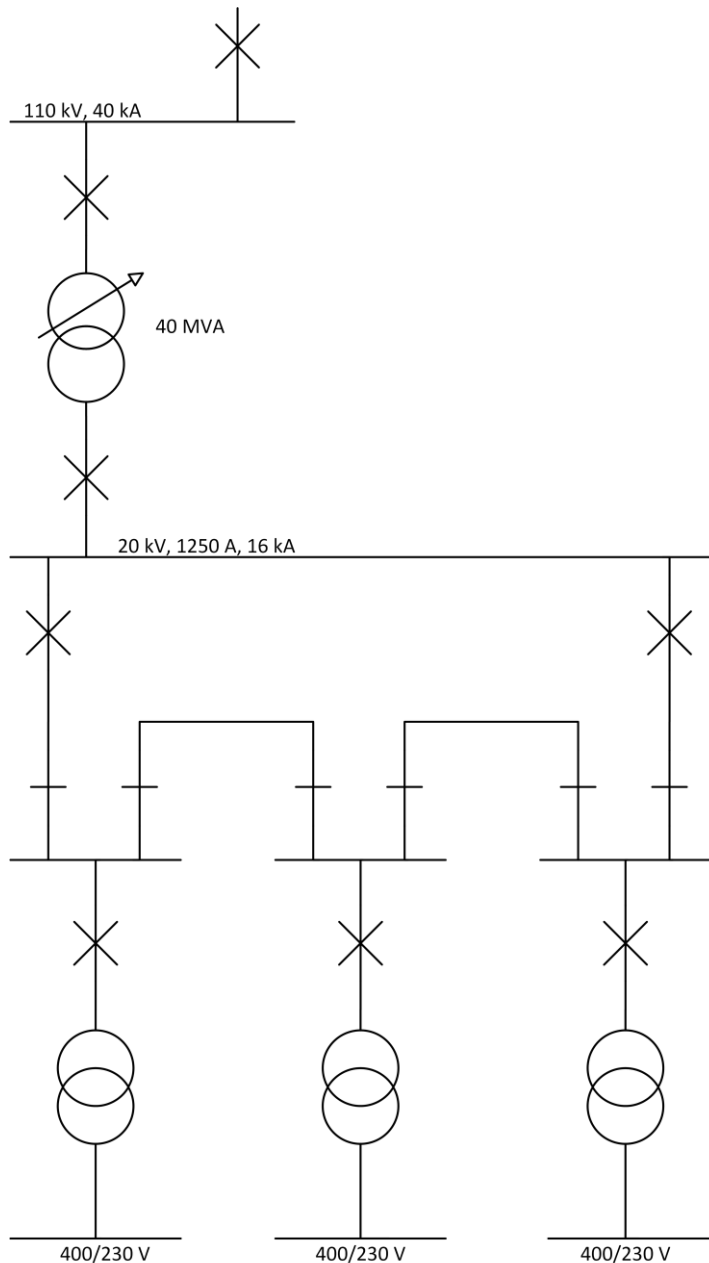
Sähkönjakelujärjestelmän tarkoitus on siirtää joko voimansiirtojärjestelmän kautta tai suoraan jakeluverkkoon liitettyjen voimalaitosten tuottama sähkö lopputähtäjille (Lakervi & Partanen 2008, 11). Verkot rakennetaan joko säteittäisesti, renkaiksi tai silmukoidusti. Jokaisella rakennetyypillä on omat hyötynsä ja haittansa, joten niitä vertailtaessa on otettava huomioon niiden käyttöön liittyvät teknis-taloudelliset näkökohdat. (ABB Oy 2000c, 1)

Prosessiteollisuuden sähkönjakeluverkot on rakennettu säteittäisiksi (Kuvio 7). Tällöin suojausjärjestelmät pysyvät yksinkertaisina ja oikosulkutehot pienempinä. Myös rengasmaisia sähköverkon rakenteita (Kuvio 8) käytetään huolto- ja varayhteyksien mahdollistamiseksi. (Etto 1998, 4)



Kuvio 7. Säteittäinen teollisuusverkko. (Etto 1998, 4)

Rengasverkkoja käytetään yleensä suuremmilla jännitteillä ja säteittäiseen verkkoon verrattuna sen etuja ovat varmistettu syöttö, parempi jännitevakavuus ja pienemmät tehohäviöt. Sen haittoja ovat käytön vaikeutuminen ja relesuojauksen monimutkaistuminen. (ABB Oy 2000c, 1)



Kuvio 8. Rengasmaisen teollisuusverkko. (Etto 1998, 4)

Silmukoitu verkko on muuten kuin rengasverkko, mutta se sisältää myös renkaan sisäisiä väliyhteyksiä. Näin voidaan kohottaa syöttöjen varmistusmahdollisuuksia edelleen ja parantaa verkon jännitevakavuutta sekä pienentää tehohäviöitä. Kuitenkin tämä vaikeuttaa käyttöä edelleen ja myös relesuojauksen hinta nousee. (ABB Oy 2000c, 1)

20 kV jakelujännitettä käytettäessä keskijännitemoottorit on liitetty yleensä omaan 6 kV kojeistoon. Kojesta syöttää oma tehomuuntaja. Moottoreita voi olla



kojeistossa yhdestä kymmeneen kappaletta, joista osa voi olla prosessin ajomallista riippuen myös varalla. Jakelujännitteen ollessa 10 tai 6 kV moottorit ja jakelumuntajat on kytketty samoihin kojeistoihin. Tällöin oikosulkutehoja joudutaan usein rajoittamaan kuristimella, erityisesti jos kojeistoon on kytketty myös generaattoreita. (Etto 1998, 4)

Prosessiteollisuudessa joidenkin laitteistojen on pysyttävä käynnissä myös normaalin sähköjakelun katkettua. Tällöin käytetään esimerkiksi dieselvarmennettua verkkoa tai akkuvarmennettua tasa- tai vaihtosähköjakelua. Useimmiten sähköjakelun ja automaation apusähköverkot toteutetaan varmennettuina. (Etto 1998, 4)

#### 4.4 Sähköjakelu maanalaisessa kaivoksessa

Maanalainen kaivostoiminta asettaa joitain erityisvaatimuksia sähköjakelulle. Kaivoksen jakeluverkon suurin sallittu jännite on 20 kV. Turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden sähkönsyöttö tulisi järjestää kahta eri reittiä pitkin. Sähköasemalta lähtee kaksi tai useampia kaapeleita kaivoksen eri tasoilla tai alueilla oleville jakelumuntamoille. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 281).

Kiinteät muuntamot rakennetaan yleensä omaan ympäristön vaikutuksilta suojattuun tilaansa. Tällöin voidaan käyttää tavallisia sähköjakelussa käytettäviä laitteita. (Paalumäki ym. 2015, 281)

Siirrettäville konttimuuntamoille louhitaan tavallisesti tunnelin varteen oma erillinen syvennyksensä. Muuntamot asennetaan kuormitusten keskipisteisiin. Huoltotoimenpiteitä varten muuntamon ympärillä on oltava riittävä määrä tilaa. Tilaratkaisuihin vaikuttaa myös kaapelireitit muuntamon sisään. Etenkin syvemmissä kaivoksissa muuntamolle olisi syytä rakentaa koneellinen ilmastointi liiallisen lämmön ja pölyn poistamiseksi. (Paalumäki ym. 2015, 282)

Öljyeristeisten muuntajien sijasta on käytettävä ensisijaisesti paloturvallisuussyistä kuivaeristettyjä muuntajia. Valuhartsiset muuntajat ovat ilmajäähdytteisiä ja valuhartsin ansiosta niiden jännitekestoisuus on hyvä. Hartsieristys kestää

myös hyvin pölyä, kosteutta sekä pakkasta. Valuhartsieristeinen muuntaja on vaikeasti syttyvä ja itsestään sammuva. Maan päällä, esimerkiksi ilmanvaihtoasemilla ja avolouhoksilla voidaan käyttää öljyeristeisiä muuntajia, mutta suositeltavampaa on käyttää kuivamuuntajia, koska tällöin ei tarvita öljynkeräysaltaita. (Paalumäki ym. 2015, 282)

Jakelumuuntajien suojana käytetään joko katkaisijaa ja suojarahetta tai varokekuormanerotinta. Varokekuormanerotin on näistä edullisempi vaihtoehto. Muuntajan ylikuumentumisen estämiseksi on suositeltavaa käyttää yllilämpösuojaa. (Paalumäki ym. 2015, 282)

Kaivoksen sähkölaitteet voidaan jakaa kiinteisiin, puolikiinteisiin ja siirrettäviin laitteisiin. Kiinteitä laitteita ovat kaivoksen pääpumput, osa puhaltimista, kiinteä valaistus ja kompressorit. Puolikiinteitä laitteita ovat esimerkiksi paikallispuhaltimet, nousunajokoneet ja kairakoneet. Siirrettäviä laitteita ovat muun muassa uppopumput, työmaakeskukset ja työpaikkavalaisimet. Kaivosten olosuhteet ovat raskaimpia, missä sähkölaitteita käytetään. (Paalumäki ym. 2015, 279)

Sähkökäyttöisten työyksiköiden sähkönsyöttöä varten on suositeltavaa rakentaa runkoverkko, joka on riittävän vahva syöttääkseen useita koneita yhtä aikaa ja joka kattaa useamman tason sähköntarpeen. Runkoverkossa on keskuksia, joiden pistorasioista koneet saavat käyttösähkösä. Pistorasiat on suojattu johdonsuojilla ja vikavirtasuojakytkimillä. Johdonsuoja suojaa kaapelin ja vikavirtasuojakytkin koneen käyttäjän vaarallisilta vikavirroilta sekä irrottaa porausyksikön ja sen liitännä johdon vian sattuessa verkosta. (Paalumäki ym. 2015, 291)

## 5 KÄYTTÖVARMUUS

### 5.1 Sähkönjakelun viat

Keskeytykset sähkönjakelussa voivat pahimmassa tapauksessa keskeyttää prosessin, jonka uudelleen käynnistys saattaa kestää useita tunteja tai jopa vuorokauden. Tuotantohäiriöt voivat aiheuttaa lyhyessä ajassa suuria taloudellisia menetyksiä, johtuen menetetyistä tuotannosta ja tuotteen laatuhäiriöistä. Käytettävyys onkin tärkeysjärjestyksessä ensimmäinen prosessiteollisuuden sähköverkon uusinnan peruste. (Etto 1998, 4).

Eristysviasta tai ulkoisesta kosketuksesta johtuen jakeluverkon virtapiiri voi sulkeutua suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Oikosulku voi olla kaksi tai kolmivaiheinen ja sille on tyypillistä kuormitusvirtaa suurempi virta. Vika voi sattua myös vaihejohtimen ja maan välille. Maasulun vikavirran suuruus riippuu verkon tähtipisteen maadoitustavasta. Vioista voi aiheutua henkilövahinkoja, johtojen ja laitteiden ylikuumenemista sekä häiriöitä ja keskeytyksiä sähkönjakeluun. Vioittunut virtapiirin osa kytketään irti sähkönsyötöstä rele- tai sulakesuojauksen avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 28)

Tyypillisesti Suomessa käytössä olevissa jakeluverkoissa kolmivaiheinen vikavirta sähköaseman kiskostossa on 5 – 12 kA. Olennaisesti oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa taustalla olevan 110 kV:n verkon lisäksi myös päämuuntajan koko. Mitä suurempi päämuuntaja, sitä suurempi on 20 kV:n kiskoston oikosulkuvirta. 20 kV:n verkon oikosulkuvirtojen suuruus riippuu sähköaseman ja vikapaikan välisten johtojen pituudesta ja poikkipinnasta. Johtojen impedanssi pienentää vikavirtaa jo muutaman kilometrin matkalla muutamaan kiloampeeriin tai satoihin ampeereihin. Pitkien pienipoikkipintaisten johtojen loppupäässä tapahtuvissa vioissa vikavirta voi olla niin pieni, 150 – 200 A, että oikosulkusuojauksen havahtuminen voi joissain vikatilanteissa tulla ongelmalliseksi. (Lakervi & Partanen 2008, 30)

Maasta erotetussa 20 kV:n verkossa maasulkuvirrat ovat huomattavasti pienempiä kuin oikosulkuvirrat ja jopa pienempiä kuin kuormitusvirrat. Avojohtoverkossa

tyypillinen maasulkuvirta on 5 - 20 A ja maakaapeliverkossa 20 - 200 A. Pieni maasulkuvirta asettaa omat erityisvaatimukset suojauksen toteuttamiselle. (Lakervi & Partanen 2008, 30)

## 5.2 Jännitekuopat

Kolmivaiheinen vastukseton oikosulku aiheuttaa vikapaikassa jännitteen putoamisen nolnaan ja myös muualla verkossa jännite putoaa. Muutos on riippuvainen tarkastelupisteen ja vikapaikan keskinäisestä sijainnista. Lähellä 110/20 kV:n sähköasemaa tapahtuvat oikosulut aiheuttavat syvän jännitekuopan, joka vaikuttaa kyseisen sähköaseman koko syöttöalueeseen ja on näin ollen erittäin haitallinen. Jännitekuoppien vaikutusalue on siis huomattavasti suurempi kuin keskeytyksen. Säteilteisessä verkossa jännite romahtaa oikosulkuvian seurauksena vikapaikassa ja sen takana. Sähköasemaa kohti mentäessä jänniteromahdus näkyy pienempänä. Jakeluverkon oikosulkuvikojen lisäksi jännitekuoppia aiheutuu sähkönsiirtojärjestelmän vioista sekä kuormitusten kytkennöistä kuten moottoreiden käynnistyksistä ja asennuksissa tai laitteissa esiintyvistä vioista. (Lakervi & Partanen 2008, 31 – 32)

Sähköasemalla esiintyvän jännitteen suuruus määräytyy sähköaseman ja vian välisen impedanssin suhteesta koko vikavirtapolun impedanssiin. Säteilteisesti syötetyn keskijänniteverkon oikosulun aiheuttama jännitekuoppa sähköasemalla voidaan laskea jännitteenjakosäännön avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 31)

$$\underline{U}_{kuoppa} = \frac{\underline{Z}_L + \underline{Z}_F}{\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F} \times \underline{U}_v = (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F) \underline{I}_F \quad (4)$$

missä

$\underline{U}_{kuoppa}$	on	jäljelle jäävä jännite kuopan aikana [V]
$\underline{U}_v$	on	vaihejännite [V]
$\underline{Z}_L$	on	vikapolulla olevan keskijännitelähdön impedanssi [ $\Omega$ ]
$\underline{Z}_F$	on	vikaimpedanssi [ $\Omega$ ]
$\underline{Z}_S$	on	syöttävän verkon impedanssi [ $\Omega$ ]

$Z_T$	on	syöttävän muuntajan impedanssi [ $\Omega$ ]
$I_F$	on	vikavirta [A]

Vian aiheuttaman jännitekuopan kesto on riippuvainen suojauksen toiminnasta. Mitä nopeammin oikosulussa oleva lähtö kytketään jännitteettömäksi, sitä lyhemmäksi kiskossa ja taustaverkossa esiintyvä jännitekuoppa jää. Oikosulun nopea poiskytkentä on erityisen tärkeää lähellä sähköasemaa tapahtuvissa vioissa. Tämä voidaan toteuttaa vikavirtasuojauksen pikalaukaisua käyttämällä. Suojauksen selektiivisyysvaatimuksista johtuen mahdollisuudet vaikuttaa jännitekuoppien kestoon suojareleasetteluiden avulla ovat kuitenkin suhteellisen rajalliset. (Lakervi & Partanen 2008, 33)

Jäännösjännitteen suuruuden kannalta olisi hyvä, jos syöttävän verkon impedanssi  $Z_S$  olisi mahdollisimman pieni. Tähän ei kuitenkaan yleensä ole mahdollisuutta vaikuttaa. Myös 110/20 kV:n muuntajan koko vaikuttaa jäännösjännitteeseen. Mitä suurempi muuntajan nimellisteho on, sitä pienempi on oikosulkuimpedanssi ja sitä korkeampi vian aikainen jäännösjännite. Käytännössä päämuuntajan nimellistehon vaikutus jännitekuopan suuruuteen on vähäinen, eikä muuntajainvestointia tai muuntajan nimellistehon valintaa voida perustella jännitekuopilla. (Lakervi & Partanen 2008, 33)

Päämuuntajien lukumäärä ja sähköaseman kiskostojärjestelyt vaikuttavat jännitekuoppien lukumäärään. Jännitekuoppien määrää voidaan vähentää jakamalla sähköaseman syöttö eri päämuuntajille ja sähköaseman lähdöt eri päämuuntajien syöttämiksi. (Lakervi & Partanen 2008, 33)

### 5.3 Kunnossapito

Kunnossapidon tavoite on pitää verkon komponentit toimintakuntoisina niin, että verkon pitkän aikavälin kokonaiskustannukset jäävät mahdollisimman pieniksi. Kunnossapito voidaan jakaa ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Ehkäisevä kunnossapito toteutetaan joko aikaperusteisena kunnossapitona tai kunto-tilan seurantaan perustuvana, joka on näistä nykyisin yleisempi vaihtoehto. (Lakervi & Partanen 2008, 228)

Verkostokomponenttien kunnossapitostrategioita valittaessa on määritettävä tavanomaisen korjaavan ja ehkäisevän kunnossapidon välillä. Ehkäisevän kunnossapidon tavoite on estää vikojen syntyminen. Tavanomaisia ehkäisevän kunnossapidon toimintoja ovat:

- verkostokomponenttien kuntotilan tarkastukset
- johtokatuja raivaukset, muuntamoiden puhdistukset ym.
- verkostokomponenttien määräaikaishuollot ja parannukset. (Lakervi & Partanen 2008, 228)

Komponentit, joiden vaikutus verkon käyttövarmuuteen on vähäinen, voidaan huoltaa vain tarpeen mukaan. Tällöin puhutaan korjaavasta kunnossapidosta. Käyttövarmuuteen enemmän vaikuttaville komponenteille on tehtävä tarkastuksia ja mittauksia määräajoin. Näin varmistetaan, että komponenttien kunto ei pääse heikkenemään tietämättä. Komponenteille, joiden kunto on todettu osin heikentyneeksi, voidaan tehdä ennakkohuoltoja. Kun komponentin tekninen käyttöikä lähestyy loppuaan, se riippuen komponentista joko vaihdetaan tai sille tehdään laaja perushuolto, jolla sen käyttöikä saadaan pidennettyä. (Lakervi & Partanen 2008, 229)

Avojohtoverkoille on sähköturvallisuussäännösten mukaan tehtävä kuntotarkastus vähintään viiden vuoden välein. Keskijänniteverkon kaapeleille voidaan tehdä eristysvastus- ja osittaispurkausmittauksia. (Lakervi & Partanen 2008, 229 – 230)

Sähköasemakomponenteille tehdään säännöllisesti kuntotarkastuksia niiden tärkeydestä johtuen. Päämuuntajille tehdään öljyanalyysi joko vuosittain tai joka toinen vuosi. Muuntajien kuormitusta ja öljyn lämpötilaa seurataan jatkuvasti. Päämuuntajalle voidaan tehdä laaja peruskunnostus esimerkiksi 25 – 30 vuoden iässä. Peruskunnostus tehdään muuntajatehtaalla ja se lisää muuntajan elinikää 10 – 15 vuotta. Sähköaseman kiskoille ja kaapelipäätteille tehdään säännöllisin väliajoin lämpökuvauksia liitosten tarkistamiseksi. Myös suojarileiden toiminta tarkastetaan määräajoin. (Lakervi & Partanen 2008, 230)

Ehkäisevän kunnossapidon avulla pyritään pitämään verkkokomponentit toimintakunnossa. Korjaavaa kunnossapitoa tarvitaan kuitenkin aina, koska komponenttien vikaantumista ei voida täydellisesti estää ja esimerkiksi luonnonvoimien aiheuttamat vauriot ovat vaikeasti ennakoitavissa. Liian pitkälle vietyä ehkäisevää kunnossapitoa lisää verkon kokonaiskustannuksia. (Lakervi & Partanen 2008, 230)

## 6 KAIVOKSEN SÄHKÖVERKON NYKYTILA

### 6.1 Verkon rakenne ja kuormitus

Kaivoksen sähköjakeluverkkoa syötetään Rovakaira Oy:n omistamalta sähköasemalta, joka sijaitsee kaivosalueella. Sähköasemalle tulee 110 kV:n (Kuva 1) sähkölinja, joka jaetaan kahdeksi eri kentäksi kokoojakiskolla. Sähköasemalla on kaksi 25 MVA:n 110/20 kV päämuuntajaa. Sähköasemalla on kaksi keskijännitekytkinlaitosta SUU1 (Kuva 2) ja SUU2. 20 kV:n kytkinlaitokset on toteutettu yksikiskokojeistoina, joiden lähdöissä on vaunukatkaisijat. Normaalitilanteessa SUU1 kytkinlaitosta syöttää päämuuntaja PM1 ja SUU2 kytkinlaitosta päämuuntaja PM2. Oikosulkuvirroiltaan kaivoksen sähköjakeluverkko muistuttaa enemmän perinteistä sähköjakeluverkkoa kuin teollisuusverkkoa. Liitteissä 1 ja 2 on kaivoksen sähköjakeluverkon pääkaavio.



Kuva 1. Sähköaseman 110 kV kenttää ja päämuuntaja PM2.

Kaivoksen 20 kV:n verkkoa käytetään säteittäisesti, mutta se on rakennettu maanalaisen kaivoksen osalta silmukoidusti ja muuten rengasmaisesti. Näin



mahdollistetaan varasyöttöyhteyksien nopea käyttöönotto esimerkiksi kaapelivaurion sattuessa. Suurin osa verkosta on maakaapeliverkkoa, mutta alueella on myös avojohtolinjoja. Kaapelointi on toteutettu suurilta osin AHXAMK-W 3x185 kaapelilla, mutta joitain suuritehoisempia syöttöjä on tarkoitus toteuttaa tulevaisuudessa AHXAMK-W 3x300 kaapelilla.



Kuva 2. SUU1 keskijännitekojeisto.

Suurin osa prosessisähköistyksestä on toteutettu 690 V:n jännitteellä, mutta myös 400 V:n jännitettä käytetään. Rikastamolla on myös suuritehoisia 3,3 ja 6,6 kV:n nimellisjännitteellä toimivia sähkömoottoreita, joita jokaista syötetään omalla

muuntajallaan. Osa prosessisähkökeskuksista on varmennettu dieselgeneraattoreilla, prosessin turvallisen alasajon varmistamiseksi. 400 V verkko on tarpeen mukaan varmennettu UPS-laitteistoilla.

Loistehon kompensointi on toteutettu keskitetysti kahdella sähköaseman kytkinlaitosten yhteyteen sijoitetulla 2,5 Mvar:in estokelarinnakkaisparistolla. Tämän lisäksi keskijännitemoottoreilla ja osassa prosessisähkökeskuksista on omat loistehon kompensointiyksikkönsä. Uusiin keskuksiin loistehonkompensointilaitteistoja ei enää ole kuitenkaan asennettu.

Maanalaisen kaivoksen sähkönjakelussa käytetään paljon puolikiinteitä konttimuuntamoita, kiinteitä muuntamoita on ainoastaan päätasolla ja pumppaamoilla. Konttimuuntamot ovat kuljetuskonttiin rakennettuja jakelumuuntamoita, joissa on tyypillisesti 1,25 MVA:n 20/0,69 kV kuivamuuntaja, 40 kVA:n 690/400 V:n omakäyttömuuntaja, nimellisvirraltaan 630 A:n RMU-tyyppinen keskijännitekojeisto sekä 690 V ja 400 V pienjännitekeskukset.

Konttimuuntamoita on käytössä pääasiassa kolmea eri tyyppiä. Uusimmat käytössä olevat konttimuuntamot ovat ABB:n toimittamia ja niissä on ABB:n SafePlus CVVC -kojeisto. Kojeistoissa on kaksi 630 A kuormanerottimella varustettua kennoa ja kaksi 630 A katkaisijalla ja suojareleellä varustettua kennoa. Katkaisijat ovat tyhjiökatkaisijoita ja niissä on REF615 suojareleet. Vanhemmat ABB:n konttimuuntamot ovat ominaisuuksiltaan muuten samanlaisia, mutta niissä on REX521 suojareleet. Norelcon valmistamissa konttimuuntamoissa on Siemensin kaasueristeiset 8DJH keskijännitekojeistot, joissa useimmissa on sama määrä erottimia ja katkaisijoita, kuin ABB:n kojeistoissa. Siemensin kojeistoissa on käytetty Siprotec 7SJ8041 -suojarkeitä.

690 V prosessisähkökeskuksissa on kompaktikatkaisijalähtöjä porasähköverkon syöttöjä varten sekä kuormanerotinlähtöjä esimerkiksi moduulipumppaamoiden ja paikallispuhaltimien sähköistystä varten. Konttimuuntamoita käytetään maanalaisen kaivoksen lisäksi myös avolouhoksilla ja rikastehiekka-altailla.

690 V porasähköverkko koostuu VYK:eistä eli vika- ja ylivirtasuojakeskuksista, jotka on kaapeloitu AMCMK 3x240/72 kaapelilla ja ketjutettu haaroituskoteloiden avulla. VYK:eissä on työkoneiden syöttöä varten kohteesta riippuen 1 – 2 kpl 250 A:n pistorasiaa. Työkoneiden oikosulkumoottoreiden tehot vaihtelevat 55 – 132 kW:n välillä. Maanalaisen kaivoksen paikallispuhaltimet ovat tehoiltaan 11 – 110 kW ja moduulipumppaamot 55 kW.

Rikastamolla on arviolta noin 278 sähkömoottoria happilaitokset pois lukien. Varastoinnin helpottamiseksi kaivoksella on pyritty käyttämään ainoastaan pyörimisnopeudeltaan 1500 rpm moottoreita. Maanalaisen kaivoksen sähkömoottoreiden lukumäärää on hankala arvioida, koska suurin osa laitteista on joko puolikiin-teitä tai siirrettäviä. Rikastamon suurimmat moottorit ovat SAG-myllyn 5,5 MW:n 3,3 kV:n nimellisjännitteellä toimiva taajuusmuuttajaohjattu epätahtikone sekä kuulamyllyn 2,2 MW:n 690 V:n nimellisjännitteellä toimiva taajuusmuuttajaohjattu tahtikone. Happilaitoksen kompressoreiden moottoreiden nimellisjännite on 6,6 kV ja ne ovat tehoiltaan 6,5 MVA, 2,3 kW ja 1,7 kW.

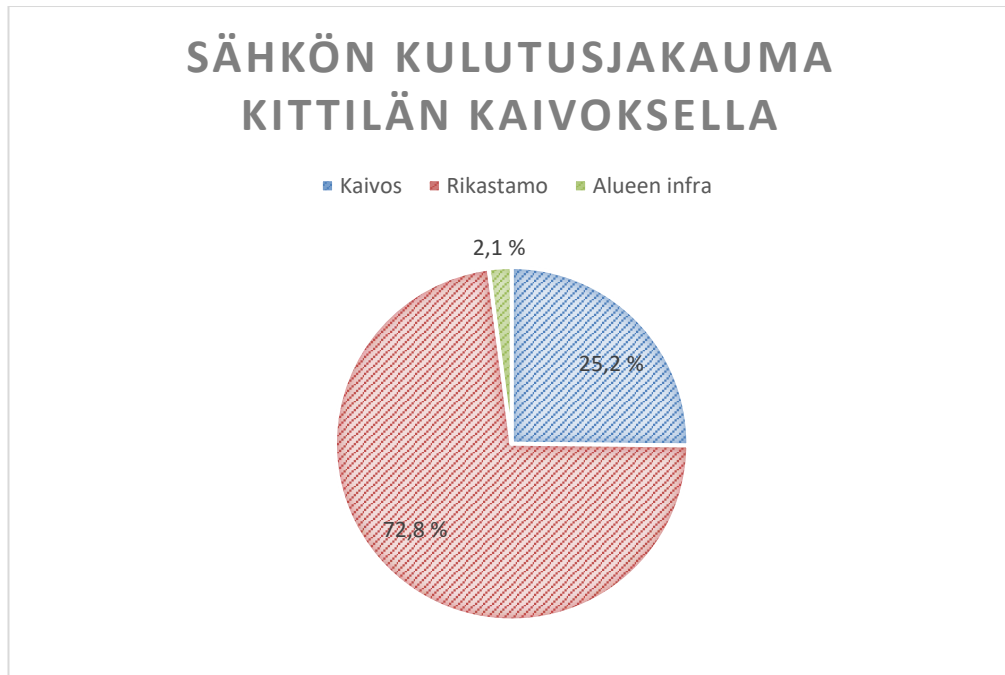
Rikastamon jakelumuuntajat syöttävät keskuksia pääasiassa kiskosillan välityksellä. Rikastamon erotinkojeisto JG11 syöttää kahta 20kV/690V:n jakelumuuntajaa, joka syöttää keskuksia MCC-3 ja MCC-4. Näistä jälkimmäinen syöttää keskusta MCC-E, johon on kytketty 2200 kVA:n varavoimakone. Sähkökatkon sattuessa varavoimakoneen logiikka ohjaa MCC-4:n pääkatkaisijan auki ja generaattorikatkaisijan kiinni, jolloin varavoimakone syöttää sekä MCC-4 että MCC-E -keskuksia. Kojeistosta JG11 syötetään myös sakeuttamon erotinkojeistoa JG3, joka syöttää 690 V:n keskusta MCC-2. Sakeuttamon erotinkojeiston ja pihamuuntajan erotinkojeiston JG2 välillä on rengassyöttö. Pihamuuntajan erotinkojeisto syöttää 400 V:n pihamuuntamoaa, jonka keskuksesta K09 on otettu lähtöjä myös prosessin tarpeisiin. Myllyn erotinkojeisto JG12 syöttää ainoastaan SAG-myllyn muuntajaa. Rikastamon laajennuksen kojeisto on jaettu kahteen osaan, joihin molempiin tulee sähköasemalta oma syöttönsä. Laajennuksen kojeisto syöttää MCC-10 prosessisähkökeskusta, joka syöttää kuulamyllyn moottoria. Tämän lisäksi siinä on keskukset MCC-11, johon on kytketty 2080 kVA:n varavoimakone, sekä MCC-12:sta ja 400 V:n keskusta K113. Laajennuksen kojeistosta lähtee myös 20 kV:n kaapeli allasalueelle. Happilaitoksilla on kaksi katkaisijakojeistoa,

JG110 ja JG112. JG110 syöttää ainoastaan happilaitos 1:sen kompressorin 6,5 MVA:n sähkömoottoria. JG112 syöttää molempien happilaitosten 400 V:n keskuksia, sekä 2. happilaitoksen kompressoreiden sähkömoottoreita. Happilaitoksen kompressoreiden sähkömoottoreilla on jokaisella oma 20/6,6 kV:n muuntajansa. Pastalaitoksen katkaisijakojeisto JG34 syöttää 690 V:n keskusta G100, johon on kytketty 2080 kVA:n varavoimakone sekä 690/400 V:n muuntaja, joka syöttää pastalaitoksen 400 V:n keskusta K100. Sulfaatinpoistolaitoksen kojeisto JG70 syöttää prosessisähkökeskus MCC-72:ta ja 400 V:n keskusta K73:a muuntajineen.

Rikastamolla, sulfaatinpoistolaitoksella ja pastalaitoksella on yhteensä noin 17 464 metriä sähkösaattoja joiden yhteenlaskettu teho on noin 475 kW. Sähkösaattokeskuksia on yhteensä viisi. Kaapeleina käytetään erilaisia itsesäätyviä kaapeleita.

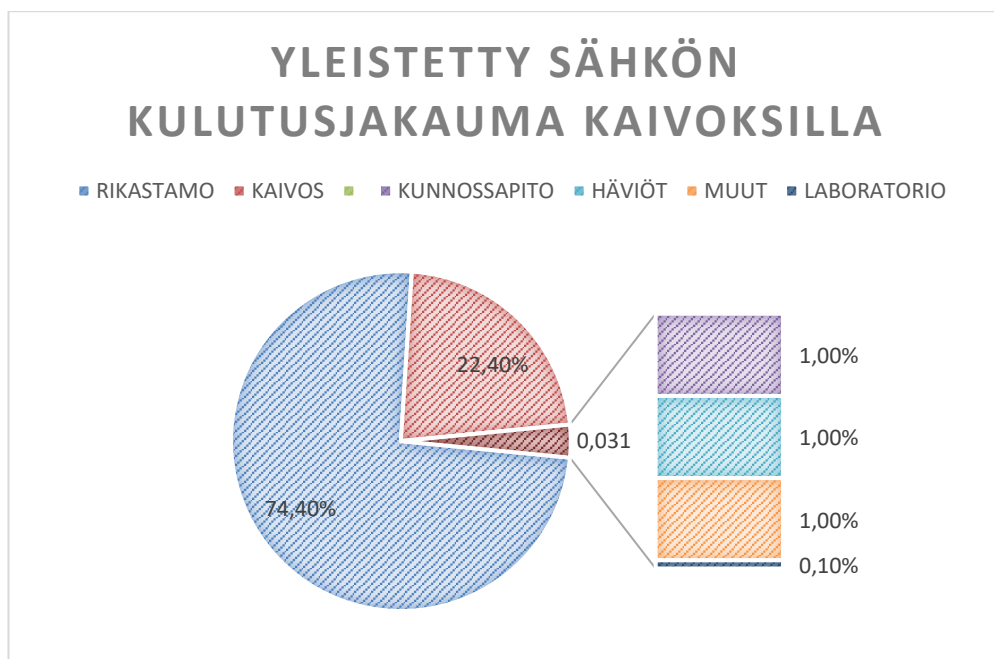
## 6.2 Sähkönkulutus

Sähkö on eniten käytetty energiamuoto kaivoksilla (Paalumäki ym. 2015, 279). Kittilän kaivoksen vuosittainen energian kulutus on noin 258 000 MWh:ta, josta sähköenergian osuus on noin 225 000 MWh:ta. Ylivoimaisesti suurin osa Kittilän kaivoksen tarvitsemasta sähköenergiasta (Kuvio 6) kuluu rikastamon prosessissa. Kaivoksen tuuletus on myös suuri sähköenergian kuluttaja ja laajennusprojektien myötä maanalaisen kaivoksen tehontarve tulee kasvamaan huomattavasti. Kaivoksen kokonaiskuormitus pysyy päivän aikana melko tasaisesti samana. Maanalaisen kaivoksen tuotanto on kuitenkin 2-vuorotyötä ja kaivoksessa räjäytetään kaksi kertaa päivässä, räjäytysten jälkeen on nk. savutunnit, joiden aikana kaivoksessa ei työskennellä ja tämän vuoksi sähkönkulutus on pienempi näinä ajankohtina.



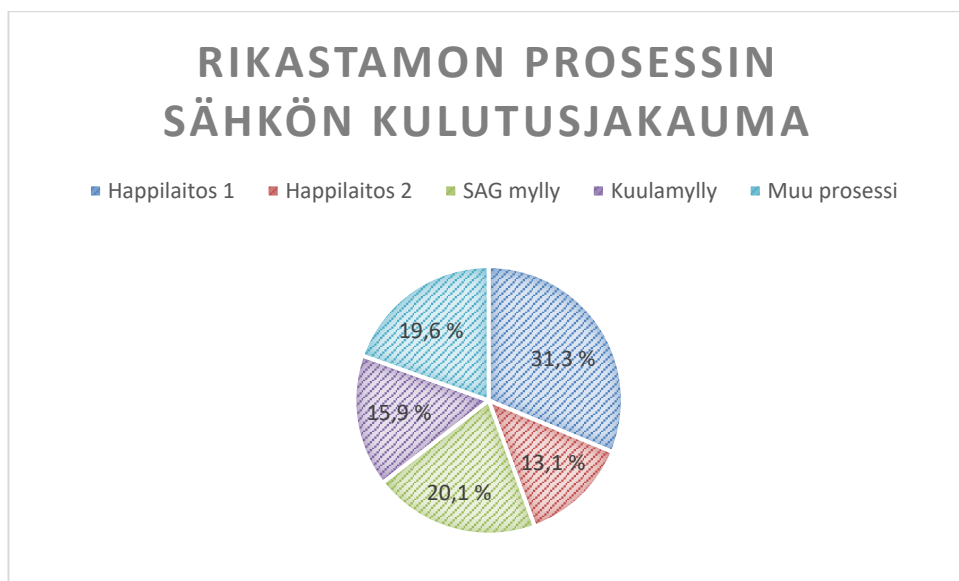
Kuvio 6. Kittilän kaivoksen sähkönkulutusjakauma.

Yleistetysti kaivoksen sähkönkulutus vaihtelee välillä 12 – 25 kWh/malmitonni. Rikastamo kuluttaa 30 – 50 kWh/malmitonni ja muun kulutuksen osuus on 2 – 4 kWh/malmitonni. Yleistetty sähkön kulutusjakauma kaivoksilla on esitetty kuviossa 7. (Paalumäki ym. 2015, 279)



Kuvio 7. Yleistetty sähkönkulutusjakauma kaivoksilla. (Paalumäki ym. 2015, 279)

Kittilän rikastamon ja maanalaisen kaivoksen tuotantolukujen perusteella voidaan arvioida tuotantoon kulutettua sähköenergiaa per malmitonni. Kittilän kaivoksen rikastamo kuluttaa arviolta 98,8 kWh/malmitonni. Näin suuri lukema voi selittyä prosessin tarvitsemalla hapella. Happilaitosten yhteenlaskettu kulutus on 35,5 % rikastamon prosessin sähkönkulutuksesta (Kuvio 8.). Jos hapen tuotanto jätetään pois laskuista, on rikastamon sähkönkulutus luokkaa 53,5 kWh/malmitonni, joka on lähempänä perinteisen rikastusprosessin sähkönkulutusta. Maanalainen kaivos kuluttaa sähköä arviolta 36,2 kWh/malmitonni. Tämä lukema on myös yleistettyyn kaivoksen sähkönkulutukseen verrattuna huomattavan suuri.



Kuvio 9. Kittilän kaivoksen rikastamon sähkönkulutusjakauma.

### 6.3 Tyypilliset häiriötilanteet

Kaivoksella tyypillisimmät sähköverkon häiriöt ovat olleet peräisin erilaisista avojohtovioista. Niiden aiheuttajina ovat olleet eristevauriot, linjoihin lentäneet suuri-kokoiset linnut ja liian lähellä avolinjaa työskennelleet koneet. Avojohtolinjat on rakennettu aivan kaivostoiminnan alkuvaiheessa Rovakaira Oy:n toimesta. Todennäköisesti avojohtolinjojen rakentamiseen on päädytty osin taloudellisista syistä ja osin jakeluverkkoyhtiön kokemuksesta rakentaa avojohtolinjoja. Avojohtolinjoja on kaksi, joista toinen syöttää Seurujoen vedenottopumppaamo, IVN1 ilmanvaihtonousun muuntamo, Rimmen vinotunnelin suuaukon kojeistoa sekä

rikastehiekka-altaan padon konttimuuntamo. Avojohtolinja lähtee sähköasemalta kaapelina, mutta muuttuu muutaman kilometrin jälkeen avojohtolinjaksi. Rikastehiekka-altaille syöttö lähtee pylväserottimelta kaapelina. Toinen avojohtolinjoista syöttää Suurikuusikon avolouhosta. Maasulku avolinjassa ei yleensä vielä vaikuta suoraan rikastamon toimintaan, mutta oikosulkujen aiheuttamat jännitekuopat saattavat aiheuttaa prosessin alasajon. Sähköaseman kiskojännitteen pudotessa pysähtyvät herkästi etenkin suuremmat sähkökäytöt. Maanalaisesta kaivoksesta lähtöisin olleet häiriöt ovat yleensä syntyneet työkoneiden aiheuttamista kaapelivaurioista.

#### 6.4 Erilaiset käyttötoimenpiteet

Kaivoksen sähköverkossa joudutaan tekemään usein erilaisia jakorajamuutoksia. Etenkin maanalaisessa kaivoksessa tulee usein tilanteita, joissa keskijännitekaapeli on otettava jännitteettömäksi esimerkiksi varustelutöiden ajaksi. Tällöin kyseisen kaapelin syöttämälle kojeistolle on kytkentämuutoksien avulla tuotava sähköön syöttö toista reittiä. Koska tällaiset varasyöttötilanteet saattavat kestää useita kuukausia, voi keskijännitelähdön kuormitus muuttua suunnitellusta tilanteesta pidemmäksi aikaa. Tämä vaikeuttaa kuormien tasaista jakamista sähköverkossa entisestään. Maanalainen sähköverkko laajenee muutenkin jatkuvasti louhinnan edetessä ja uusia muuntamoita otetaan käyttöön useita vuodessa. Maanalaisen kaivoksen jakelumuuntajien häviöt kasvavat kuormituksen kasvaessa. Tästä johtuen jakelumuuntajien toisiojännitteitä joudutaan usein nostamaan muuntajan väliottokytkimen avulla.

## 7 LÄHTÖJEN RYHMITTELY

Lähtöjen ryhmittelyä mietittäessä oli tarkasteltava eri muuntamoiden kriittisyyttä tuotannon kannalta ja kuormat oli pyrittävä jakamaan mahdollisimman tasaisesti kytkinlaitosten kesken. Myös olemassa olevia varasyöttöyhteyksiä oli pyrittävä hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan siten, että syöttörenkaita jäisi mahdollisimman vähän kahden eri kytkinlaitoksen väliin, jotta kytkentämuutosten toteuttaminen pysyisi mahdollisimman yksinkertaisena ja turvallisena.

### 7.1 Muuntamoiden kriittisyys

Kaivoksen muuntamoista tuotannon kannalta tärkeimpiä ovat ne, jotka syöttävät sellaisia rikastamon prosessin osia joiden, ylösajo on hidasta ja joiden alasajo pysäyttää rikastamon koko tuotannon. Maanalaisessa kaivoksessa tuotannon kannalta tärkeitä kohteita ovat pumppaamot, joiden pysähtyminen voi aiheuttaa nopeasti ongelmia tuotannossa. Myös ilmanvaihtonousujen pääpuhaltimien muuntamot ovat tuotannon kannalta tärkeitä, mutta niiden osalta lyhyt sähkökatko ei aiheuta vielä sen suurempia ongelmia.

### 7.2 Tehonjako

Jos lähdöt halutaan jakaa prosessialueittain järkevästi, ei kuormituksia pystytä jakamaan tasaisesti päämuuntajien kesken. Näin ollen tehon tasaista jakoa ei voida pitää lähtöjen ryhmittelyssä kovin suurena kriteerinä. Kaikki rikastamoa syöttävät lähdöt tulisi siirtää uudelle sähköasemalle, jotta muun sähkönjakeluverkon häiriöiden vaikutukset rikastamon toimintaan saataisiin luotettavasti eliminoidua. Tällöin uuden päämuuntajan kuorma tulisi olemaan huomattavasti suurempi kuin kahden muun. Jäljelle jäävien kahden päämuuntajan osalta tehonjakoon voidaan enemmän vaikuttaa.

Tehojen arviointiin käytettiin MicroSCADA:n keräämien energiatietojen päiväkohtaisia lukemia vuoden ajalta, jotka muutettiin tehoiksi. Keskihajonnan perusteella valittiin käytettiinkö kunkin lähdön kohdalla keskiarvotehoa vai huipputehoa.



### 7.3 Varasyöttöyhteydet

Standardin SFS 6001 mukaan sähköverkon kytkentätoiminnot on suunniteltava niin, että käytölle asetettuja vaatimuksia ja turvallisuusvaatimuksia voidaan noudattaa. Virtapiirit on järjesteltävä siten, että kytkentätoimenpiteet pystytään suorittamaan turvallisesti ja nopeasti. Vian ja huollon aikaiseen käytön jatkuvuuteen on myös kiinnitettävä huomiota. (SFS 6001, 52)

Lähtöjen korvaamisen peruseriaatteena on, että varasyöttö toteutetaan samalta sähköasemalta tulevan lähdön kautta. Näin lähdöt on mahdollista kytkeä lyhytaikaisesti silmukkaan ja syötön vaihto voidaan toteuttaa ilman katkoa. Jos korvaava lähtö tulee toiselta sähköasemalta, silmukakytken avaaminen jakelu- muuntamalla olevalla erottimella voi olla vaarallista sähköasemien välillä kulkevan tasoisuvirran vuoksi. Tasoisuvirrat voivat olla huomattavan suuria, koska sähköasemien välimatkat ovat pieniä ja näin ollen näiden välissä olevien maakaapeleiden impedanssit ovat myös pieniä. (Lakervi & Partanen 2008, 125 – 126)

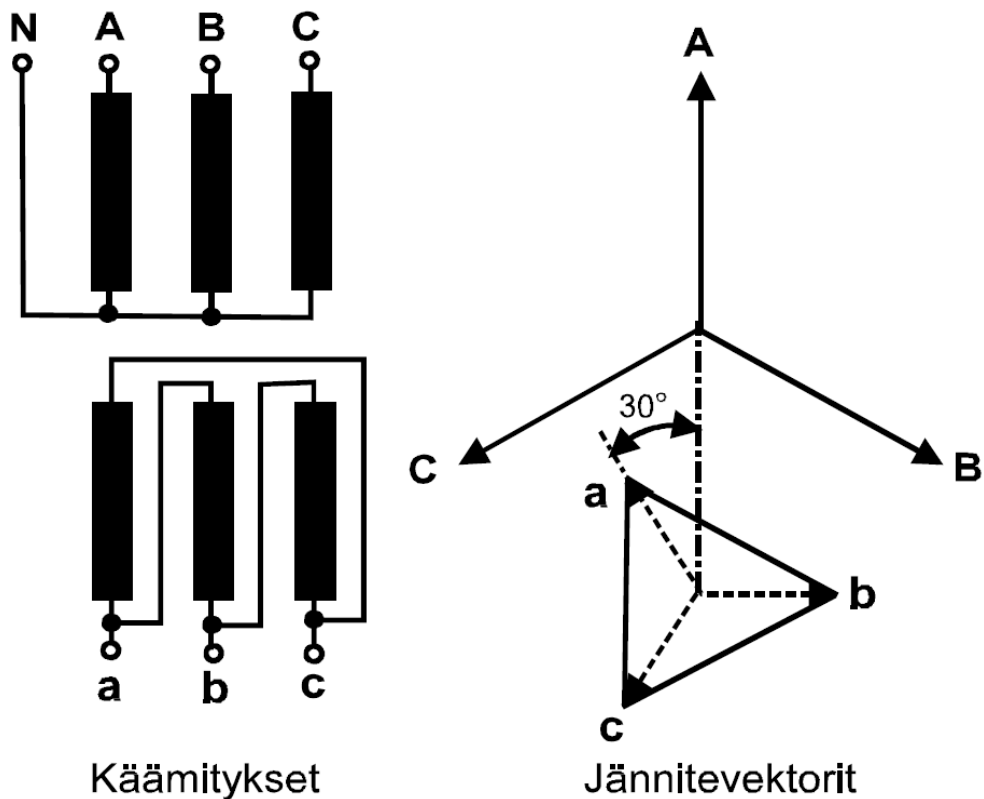
Lähtöjen ryhmittelyä suunniteltaessa pyrittiin minimoimaan kahden eri sähköaseman välille jäävät rengassyöttöyhteydet. Kuitenkin tällaisia rengassyöttöyhteyksiä jäi verkkoon lähtöjen ryhmittelystä riippuen joko yksi tai kaksi. Jotta normaali- käytön aikana pystyttäisiin ottamaan tällainen syöttörengas käyttöön, on ensin kytkettävä sähköasemien kiskot rinnan, jotta muuntajien tasoisuvirrat eivät lähde kiertämään lähtöjen välistä kaapelointia pitkin. Tämä aiheuttaisi vaihtoehdosta riippuen näiden sähkölähtöjen ylivirtasuojauksen havahtumisen ja toimimisen sekä voisi aiheuttaa hengenvaaraa kytkentätoimenpiteitä suorittavalle henkilöstölle.

Jotta kolmivaiheiset muuntajat voidaan kytkeä rinnan, niiden on täytettävä yleiset rinnankytkentäehdot:

- Muuntajien nimellistehojen suhde saa olla korkeintaan 3:1.
- Muuntajien oikosulkuimpedanssien erotus saa olla korkeintaan noin 10 %.
- Muuntajien nimellisjännitteiden on oltava yhtä suuret ja toleranssi muuntosuhteissa voi olla korkeintaan 0,5 %.

- Rinnan kytkettäessä toisiojännitteiden on oltava samansuuntaiset.  
(Hietalahti 2011, 27)

Viimeinen ehto täyttyy, kun muuntajien kytkennöillä on sama tunnusluku ja muuntajien samannimiset liittimet on yhdistetty keskenään sekä ensiössä että toisiossa. Tunnuslukujen poiketessa toisistaan  $120^\circ$  saadaan toisiojännitteet samansuuntaisiksi kytkemällä ensimmäisen muuntajan toisioliitin b toisen muuntajan toisioliittimeen a ja muut liittimet vastaavasti syklisesti siirtyen b- ja c- liittimiin. Jos tunnusluvut poikkeavat toisistaan  $240^\circ$ , kytketään vastaavasti ensimmäisen muuntajan toisioliitin b toisen muuntajan a-liittimeen ja niin edelleen. Tällä tavalla voidaan kytkeä rinnan muuntajat tunnuslukuryhmissä 0 – 4 – 8, 6 – 10 – 2, 1 – 5 tai 7 – 11. Sopivasti risteilemällä ensiö- ja toisioliitännät voidaan rinnankytkä myös ryhmän 1 – 5 muuntaja ryhmän 1 – 7 muuntajan kanssa. (Hietalahti 2011, 27)



Kuvio 10. YNd11 kytkentä, jota käytetään sähköaseman päämuuntajissa. Kaivoksen jakelumuuntajissa käytetään Dyn11 kytkentää. (ABB Oy 2000b, 3)

## 8 TOTEUTUSEHDOTUKSET

Toteutuksen suunnittelu aloitettiin siitä, että kaikki rikastamoja syöttävät lähdöt siirrettäisiin uuden sähköasemalaajennuksen kojeistoon. Uudeksi päämuuntajaksi oli alustavasti suunniteltu 25 MVA:n muuntajaa, kuten nykyisetkin päämuuntajat. Kuitenkin rikastamon tehontarve tulisi ylittämään lähivuosina toteutettavien prosessin laajennusten jälkeen 25 MVA:n muuntajan kapasiteetin, joten oli tarkasteltava erilaisia vaihtoehtoja.

### 8.1 Nykyiset lähtöjärjestelyt

Suurikuusikon sähköaseman lähtöjärjestelyt ovat tällä hetkellä seuraavat:

- SUU1 J01, mittaus
- SUU1 J02, kytkinlaitoksen omakäyttömuuntaja
- SUU1 J03, Rovakaira Oy:n varasyöttö Rouravaaraan
- SUU1 J04, syöttö päämuuntajalta 1
- SUU1 J05, erotinpylväs
- SUU1 J06, kaivoksen suuaukko
- SUU1 J07, yhdistys SUU1
- SUU1 J08, avolouhos ja murska
- SUU1 J09, loistehon kompensointi
- SUU1 J10, IVN2
- SUU1 J11, rikastamon prosessi
- SUU1 J12, SAG mylly
- SUU1 J13, pihamuuntamo
- SUU2 J21, yhdistys SUU2
- SUU2 J22, kytkinlaitoksen omakäyttömuuntaja
- SUU2 J23, mittaus
- SUU2 J24, loistehon kompensointi
- SUU2 J25, happilaitos 1:n kompressorin

- SUU2 J26, happilaitos 2
- SUU2 J27, syöttö päämuuntajalta 2
- SUU2 J28, rikastamon laajennuksen syöttö 1 (kuulamyly)
- SUU2 J29, rikastamon laajennuksen syöttö 2
- SUU2 J30, varalla
- SUU2 J31, varalla
- SUU2 J32, varalla
- SUU2 J33, pastalaitos
- SUU2 J34, kaivoskonttori
- SUU2 J35, kuilun nousunajokone
- SUU2 J36, IVN6.

## 8.2 Vaihtoehto 1

Ensimmäisessä vaihtoehdossa rikastamon jauhatusprosessia syöttävät lähdöt jätettäisiin uuden SUU3-kytkinlaitoksen ulkopuolelle. Jauhatus on selkeästi hapon tuotannon jälkeen prosessin suurin sähköenergian kuluttaja. Jättämällä jauhatusprosessia syöttävät lähdöt uuden kytkinlaitoksen ulkopuolelle, pysyisi päämuuntajan kuormitus kohtuullisena ja siihen jäisi varaa mahdollisia laajennuksia varten. Jauhatusprosessin ylösajo on myös nopeaa muuhun prosessiin verrattuna ja verkon ääriosissa tapahtuvan häiriön aiheuttama lyhyt sähkökatko ei aiheuttaisi suurempia ongelmia tuotannon kannalta. Tässä vaihtoehdossa ongelmana on kuitenkin kuulamylyn kanssa samassa kojeistossa sijaitseva prosessisähkökeskus joka syöttää myös muun muassa autoklaavialueen laitteita, jotka ovat prosessin kannalta erittäin kriittisiä. Keskus on varmennettu dieselgeneraattorilla, mutta ennen varavoiman käynnistymistä automaatiojärjestelmän lukitukset ehtivät ajaa prosessin alas. Tästä johtuen tällaiset verkon järjestelyt olisivat osittain turhia ilman muutoksia ohjelmalukitusten viiveissä.

Uudelle SUU3-kytkinlaitokselle käännettäisiin SUU1 lähdöt J11, J13, J29, tämän lisäksi rikastamon uuden laajennuksen kojeiston syöttö tulisi tältä kytkinlaitokselta. Vanhan pastalaitoksen syöttö lähdöstä J33 käännetään myös uuden laajennuksen kojeiston taakse. Happilaitoksen syötöt J25 ja J26 käännetään SUU3:lle kuten myös SUU2 loistehon kompensointi J24 lähdöstä. Uuden päämuuntajan kuormitus olisi näin ollen keskimäärin 16,6 MVA:ta.

SUU2-kytkinlaitokselle käännettäisiin SAG-mylly lähdöstä J12 ja laajennuksen kojeiston toinen syöttö J28:sta. Tämän lisäksi SUU2-kytkinlaitokselta syötetään tulevaisuudessa uutta keskuspumppaamoa sekä Rimmen 333 tason pumppaamoa. Kytkinlaitokselle hankittaisiin myös uusi 1,5 Mvarin kompensointilaitteisto. SUU2:n kuormitus olisi arviolta 12,5 MVA:ta.

SUU1-kytkinlaitokselle jätettäisiin nykyiset lähdöt J05, J07, J08, J09 ja J10. Lisäksi SUU2-kytkinlaitokselta käännettäisiin tänne J36 eli IVN6 syöttö. Käytännössä tältä kytkinlaitokselta syötettäisiin pääasiassa maanalaisen kaivoksen ilmanvaihtoa ja myös maanalaisen kaivoksen prosessisähköistyksen syötöt tulisivat kokonaan tältä kytkinlaitokselta. Näin mahdollistetaan maanalaisessa kaivoksessa usein tehtävät jakorajamuutokset. Myös kaivoskonttorin syöttö J34 käännetään SUU1:selle, mutta koska kyseisen lähdön kuormitus on hyvin pieni, se voidaan tarvittaessa jättää myös alkuperäiseen paikkaansa. Suunnitteilla olevan nostokoneen ja rocklinen syöttö otetaan myös tältä kytkinlaitokselta. Nostokoneeseen tulee todennäköisesti suuritehoinen keskijännitemoottori, jonka syöttö on järkevä ottaa verkon heilahtelujen välttämiseksi eri kytkinlaitoksesta kuin muiden suuritehoisten keskijännitemoottoreiden. Päämuuntajan kuormitus olisi arviolta 11,7 MVA:ta.

Eri kytkinlaitosten välille jääviä varasyöttöyhteyksiä jäisi tässä vaihtoehdossa kaksi kappaletta. SUU1-kytkinlaitokselta syötettävästä IVN6 kojeistolta lähtee kaapeli NP3-altaille JG68 kojeistoon, jota syötetään SUU2-kytkinlaitokselta. Rikastamon laajennuksen kojeisto on jaettu kahteen osaan, jotka on yhdistetty kaapelilla. Toista kojeiston osaa syötetään SUU3:lta ja toista SUU2:lta. Tämän lisäksi

SAG-myllyn kojeiston ja murskan välissä on olemassa kaapeli, joka on molemmista päistä kytkemättä. Kuitenkin jos tuo kaapeli otettaisiin käyttöön, yhdistäisi se SUU2- ja SUU1-kytkinlaitokset.

### 8.3 Vaihtoehto 2

Toisessa vaihtoehdossa uuden kytkinlaitoksen ulkopuolelle jätettäisiin toista happitehdasta syöttävä lähtö. Happitehtaiden kompressorit ovat ehdottomasti suurin yksittäinen sähköenergian kuluttaja kaivoksella. Toisen happitehtaan tullessa alas tuotantoa pystyttäisiin pitämään ainakin jonkin aikaa käynnissä varahappisäiliön avulla. Mahdollisia ongelmia tässä järjestelyssä voisi aiheuttaa se, että molempien happitehtaiden prosessisähköt tulevat happitehtaan 2 kojeistosta, joka on happitehtaista tuotantomäärältään pienempi.

SUU3-kytkinlaitokselle käännetään lähdöt J11, J12, J13, J28, J24, J26 ja J29. Rikastamon uuden laajennuksen syöttö vedetään myös tältä kytkinlaitokselta. Päämuuntajan kuorma tulisi olemaan arviolta 18,6 MVA.

SUU2-kytkinlaitokselle jätettäisiin alkuperäisistä lähdöistä ainoastaan J25 eli happilaitos 1:sn kompressorin syöttö, jonka nimellisteho on 6,5 MVA:ta. Tämän lisäksi keskuspumppaamo ja Rimmen 333 tason pumppaamo syötettäisiin tältä kytkinlaitokselta. Päämuuntajan kuorma olisi arviolta 10,5 MVA:ta ja loistehon kompensoimiseksi olisi hankittava uusi 1,5 Mvar:in rinnakkaiskompensointiparisto.

SUU1-kytkinlaitoksen lähtöjärjestelyt tulisivat olemaan täsmälleen samat kuin vaihtoehdossa 1. Kahden eri kytkinlaitoksen välille jääviä varasyöttöyhteyksiä olisi ainoastaan yksi: IVN6-kojeistolta NP3-altaan kojeistoon JG68 menevä rengas, joka tässä tapauksessa olisi välillä SUU1 – SUU3.

### 8.4 Vaihtoehto 3

Kolmas vaihtoehto (Liitteet 1 ja 2) olisi hankkia suurempi 31,5 MVA:n päämuuntaja syöttämään uutta keskijännitekytkinlaitosta. Tällöin kaikki rikastamoa syöttävät lähdöt voitaisiin siirtää uudelle kytkinlaitokselle. 31,5 MVA:n muuntajan hinta

ei ole huomattavasti suurempi kuin 25 MVA:n muuntajan ja suuremmalla muuntajalla saavutettaisiin myös muita etuja, kuten jäykempi verkko. Myös vanhoille kytkinlaitokselle jäävät lähdöt pystyttäisiin tällöin järjestelemään järkevämmin ja maanalaisen kaivoksen prosessin kannalta tärkeät lähdöt pystyttäisiin pitämään erillään häiriöille alttiimmista verkon osista.

SUU3-kytkinlaitokselle käännetään lähdöt J11, J12, J13, J24, J25, J26, J28 ja J29. Rikastamon uuden laajennuksen kojeiston syöttö tultaisiin ottamaan tältä kytkinlaitokselta. Päämuuntajan kuormitus tulisi olemaan arviolta keskimäärin 25,1 MVA:ta.

SUU2-kytkinlaitokselle tultaisiin ottamaan lähdöt kuilun nostokoneella ja rocklinelle, keskuspumppaamolle sekä Rimpi 333 pumppaamolle. SUU2 päämuuntajan kuormitus olisi arviolta 8,0 MVA:ta.

SUU1-kytkinlaitokselle jätettäisiin lähdöt J05, J07, J08, J09 ja J10. SUU2:lta käännettäisiin SUU1:selle lähdöt J34 ja J36. Päämuuntajan kuormitus olisi arviolta 7,7 MVA:ta. Ainoastaan yksi varasyöttörengas jäisi eri kytkinlaitosten välille, joka olisi tässäkin vaihtoehdossa aiemmin mainittu IVN6 – NP3 kaapeli.

Sähköasemalaajennuksen osalta päädyttiin lopulta tähän vaihtoehtoon ja hankintaprosessi on käynnistetty. Kolmas päämuuntaja tulee siis olemaan nimellisteholtaan 31,5 MVA ja uusi keskijännitekytkinlaitos tullaan toteuttamaan kaksoiskiskojärjestelmällä.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa esitys kaivoksen sähköaseman lähtöjen uudelleenjärjestelyistä. Jo työn alkuvaiheessa kävi kuitenkin selväksi, että pelkästään rikastamoa syöttävien lähtöjen kuormien summa on liian suuri syötettäväksi yhdellä 25 MVA:n päämuuntajalla. Tästä johtuen lähtöjärjestelyistä syntyi useita esityksiä. Näiden esitysten perusteella päädyttiin kasvattamaan sähköaseman uudeksi päämuuntajaksi alun perin kaavailtua 25 MVA:n nimellistehoa 31,5 MVA:han.

Kaivoksen kuormitusten luotettava arviointi loi työhön omat haasteensa, koska esimerkiksi pelkkiä lähtöjen maksimikuormia käyttämällä ei voida saada kovin totuudenmukaista kuvaa verkon kuormituksesta. Kaivoksen käytönvalvontajärjestelmän keräämien energiatietojen perusteella pystyttiin kuitenkin arvioimaan kuormitusta tarkemmin. Koska tämän tyyppiseen arviointiin ei ole olemassa täysin soveltuvaa menetelmää, oli sellaista mietittävä työn edetessä itse. Tähän haasteita toi lisää se, että toisen kytkinlaitoksen loisen energian kulutuksesta ei ollut olemassa keruuta. Myös kaivoksella meneillään olevat laajennusprojektit vaikeuttivat kuormien arviointia. Verrattaessa tehtyä arviota päämuuntajien nykyiseen kuormitukseen voitiin havaita, että arvio meni hieman alakanttiin. Kuitenkin sitä voitiin pitää tarpeeksi luotettavana lähtöjärjestelyiden suunnittelua varten.

Varsinaisia kehityskohteita työn aikana ei niinkään tullut esille, mutta jatkotoimenpiteinä on ainakin lähtöjärjestelyjen toteuttamiseen liittyvä työsuunnittelu, verkon oikosulku- ja maasulkuvirtojen uudelleenlaskenta sekä mahdollisesti relesuojauksen uudelleentarkastelu. Työn aikana opin paljon etenkin sähköjakelusta ja sen suunnittelusta. Myös erilaiset sähköjakelun viat ja niistä aiheutuvat häiriöt tulivat paremmin tutuiksi.



## LÄHTEET

ABB Oy 2000a. ABB TTT-käsikirja 07-2000 – Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus

ABB Oy 2000b. ABB TTT-käsikirja 07-2000 – Luku 11: Tehomuuntajat

ABB Oy 2000c. ABB TTT-käsikirja 07-2000 – Luku 13: Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot.

ABB Oy 2008. Uniswitch keskijännitekojeisto. Viitattu 15.3.2018. <https://library.e.abb.com/public/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>

Agnico Eagle Finland Oy n.d. Kuukausiraportti vuosi 2017. Excel-tiedosto. Viitattu 15.3.2018

Agnico Eagle Finland Oy 2017a. Rikastamon prosessikaavio. Sisäinen intranet. Viitattu 24.1.2018.

Agnico Eagle Finland Oy 2017b. Yleisesittely. Sisäinen intranet. Viitattu 23.1.2018.

Agnico Eagle Finland Oy 2018. Yrityksen www-sivut. Viitattu 17.1.2018. <http://agnicoeagle.fi/>

Agnico Eagle Mines Ltd 2018a. Agnico Eagle Reports Fourth Quarter and Full Year 2017 Results. Viitattu 15.3.2018. [https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc\\_news/news\\_documents/2018/AEM-Q4-and-Full-Year-2017-ResultsL.pdf](https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc_news/news_documents/2018/AEM-Q4-and-Full-Year-2017-ResultsL.pdf)

Agnico Eagle Mines Ltd 2018b. Yrityksen www-sivut. Viitattu 17.1.2018. <https://www.agnicoeagle.com/>

Alaperä, A-M. 2017. Kaivoksen vedenpoisto – Toukokuu 2017. PowerPoint-tiedosto. Viitattu 7.3.2018.

Aura, L. & Tonteri, A. J. 1993. Sähkölaitostekniikka. Helsinki: WSOY.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. 1. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Etto, J. 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2 – Kunnossapitolehden erikoisliite nro 48. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-kustannus oy Tammertekniikka.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Paalumäki, T., Lappalainen, T. & Hakapää, T. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3., uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

SFS 6001, 2015. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: SFS. Viitattu 30.1.2018. [online.sfs.fi](http://online.sfs.fi)

Peuraniemi, T. 2018a. Kaivostuuletus. Email 7.3.2018. Tulostettu 7.3.2018.

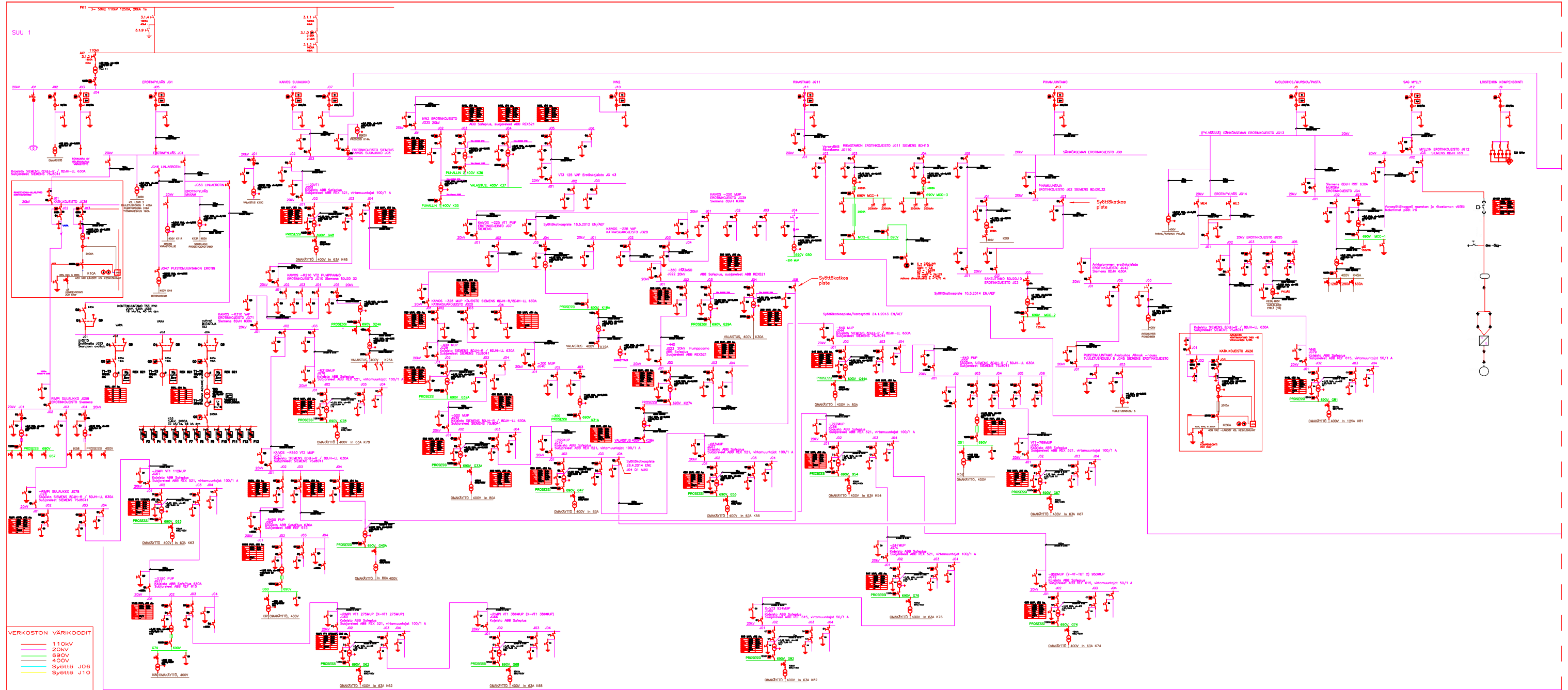
Peuraniemi, T. 2018b. Ventilation Kittilä mine. PowerPoint-tiedosto. Viitattu 7.3.2018.

Pöyry Finland Oy. 2015. Rikastamon syötemäärän sekä rikastushiekan varastointikapasiteetin kasvattaminen Kittilän kultakaivoksella. Ympäristövaikutusten

arviointiohjelma. Sivut 1 – 61. Viitattu 1.2.2018. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BBBA380FA0-359A-4573-93F6-D169743A7226%7D/109080>

## LIITTEET

- Liite 1. Kaivosalueen keskijänniteverkon jakelukaavio osa 1
- Liite 2. Kaivosalueen keskijänniteverkon jakelukaavio osa 2
- Liite 3. Lähtöjärjestelyiden periaatekaavio osa 1
- Liite 4. Lähtöjärjestelyiden periaatekaavio osa 2



SUU 2.

